Ульяновский государственный педагогический институт
им. И. Н. Ульянова

УЧЕНЫЕ ЗАПИСКИ

ТОМ XVIII

ВЫПУСК I

Ульяновск

1963

Ульяновский государственный педагогический
институт им. И. Н. Ульянова

УЧЕНЫЕ ЗАПИСКИ

ТОМ XVIII Выпуск I

Ульяновск
1963

М. И. БЕЛЫЙ,
канд.техн. наук.

РАСЧЕТ ЛИНЕЙНЫХ МАГНИТНЫХ ЦЕПЕЙ С РАВНОМЕРНО РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ

В приборостроении все большее распространение начинают получать ферродинамические регистрирующие электроизмерительные приборы с линейным перемещением рамки.

Значительным препятствием широкому использованию этих приборов является отсутствие достаточно точных и удобных методов расчета линейных магнитных цепей с распределенными параметрами.

Известно, что аналитический расчет магнитной цепи с учетом магнитного сопротивления стали и потоков рассеяния представляет значительные трудности. За последние годы в отечественной литературе появились некоторые работы по данному вопросу. Так, например, в трудах доктора технических наук, профессора Б. К. Буля приводится ряд аналитических и графических методов расчета магнитных цепей на постоянном и переменном токе. Однако Б. К. Буль в расчете принимает изменения магнитной индукции вдоль длины магнитопровода в таких пределах, что удельные активные и реактивные сопротивления отдельных участков магнитопровода остаются постоянными. Если такая степень приближения вполне допустима при расчете магнитных цепей электромагнитных реле, датчиков и некоторых электроизмерительных приборов, то при расчете описываемых приборов такой метод дает значительные погрешности, так как магнитный поток в магнитопроводе, а следовательно, магнитная индукция, изменяется от нуля до максимального значения. В большом диапазоне изменяются также активные и реактивные сопротивления.

В настоящей работе рассматривается расчет прямолинейных магнитных цепей с переменным магнит-

ным потоком для случая постоянной высоты воздушного зазора δ. Схема магнитной цепи показана на рис. 1. Такая конфигурация магнитной цепи наиболее широко используется в настоящее время при конструировании электроизмерительных приборов с линейным перемещением подвижной рамки. Так как цепь симметричная, то представим ее состоящей из четырех одинаковых частей. Для исследования рассмотрим одну часть, изображенную на рис. 2.

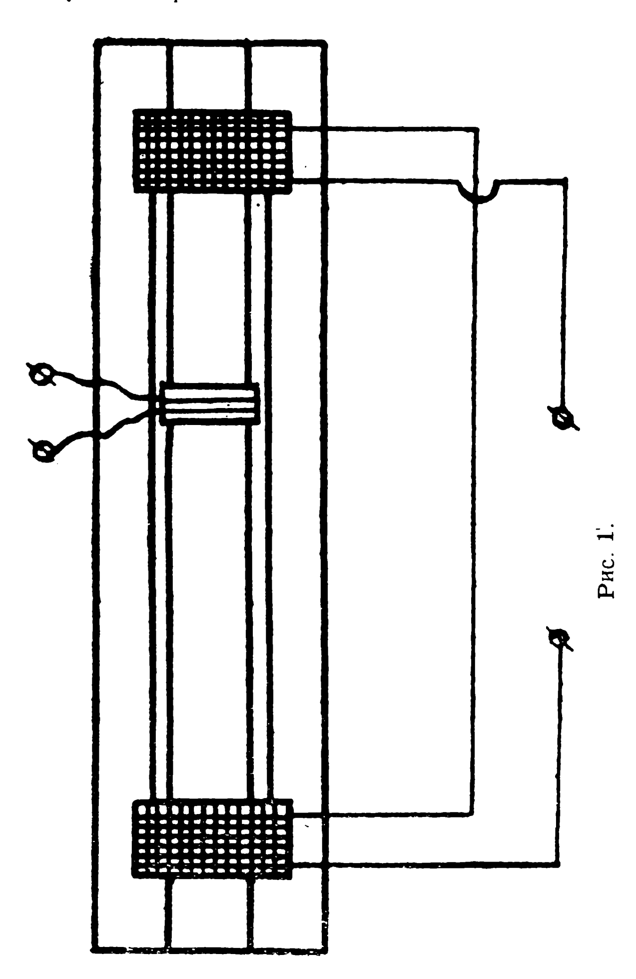


Рис. 1.

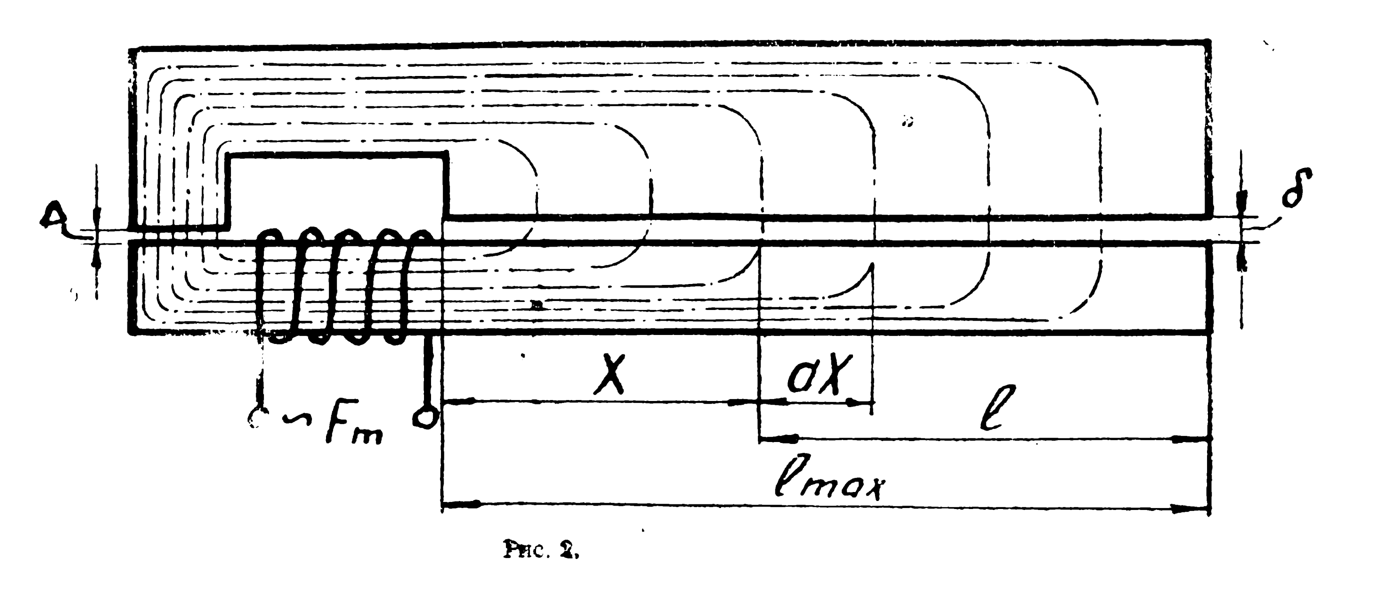


Рис. 2.

Постоянные магнитной цепи, магнитное сопротивление стали и проводимость воздушных зазоров, распределены вдоль длины цепи по определенному закону. Для рассматриваемой магнитной цепи можно вывести дифференциальные уравнения, решения которых приводят к выражениям, определяющим с большой степенью точности комплексные значения параметров цепи (магнитного потока Фx и магнитного напряжения Mx) в любом сечении на расстоянии X от намагничивающей катушки.

Разобьем магнитную цепь на элементарно малые участки dx и введем следующие обозначения:

Zmx. — комплекс магнитного сопротивления единицы длины магнитной цепи у рассматриваемого элемента.

g — проводимость воздушного зазора для рабочего магнитного потока на единицу длины магнитопровода.

Уменьшение магнитного потока в элементе dx, обусловленного проводимостью воздушного зазора:

$$-d\dot{\Phi}_x = \dot{M}_x \cdot g \cdot dx \qquad (1)$$

Уменьшение магнитного напряжения на элементе dx обусловленное сопротивлением магнитопровода:

$$-d\dot{M}_x = \dot{\Phi}_x \cdot Z_{mx} \cdot dx \qquad (2)$$

Из формул (1) и (2) делением обоих частей равенств на dx получим:

$$-\frac{d\dot{\Phi}_x}{dx} = \dot{M}_x \cdot g \qquad -\frac{d\dot{M}_x}{dx} = \dot{\Phi}_x \cdot Z_{mx} \qquad (3)$$

Дифференцируя последние уравнения по X, будем иметь:

$$-\frac{d^2\dot{\Phi}_x}{dx^2} = g\frac{d\dot{M}_x}{dx} \qquad -\frac{d^2\dot{M}_x}{dx^2} = Z_{mx}\frac{d\dot{\Phi}_x}{dx} \qquad (4)$$

Подставляя в последние выражения производные

$$\frac{d\dot{\Phi}_x}{dx} \quad \text{и} \quad \frac{d\dot{M}_x}{dx},$$

из уравнений (3), получим:

$$\frac{d^2\dot{\Phi}_x}{dx^2} = Z_{mx} \cdot g \cdot \dot{\Phi}_x \qquad \frac{d^2\dot{M}_x}{dx^2} = Z_{mx} \cdot g \cdot \dot{M}_x \qquad (5)$$

Решение линейных дифференциальных уравнений второго порядка с постоянными коэффициентами имеет вид, например, для второго уравнения:

$$\dot{M}_x = Ae^{\gamma x} + Be^{-\gamma x} \qquad (6)$$

где γ — комплексное число, определяемое из характеристического уравнения:

$$\gamma^2 - Z_{mx} \cdot g = 0 \qquad (7)$$

откуда

$$\gamma = \pm\sqrt{Z_{mx} \cdot g}$$

Дифференцируя равенство (6), получим:

$$\frac{d\dot{M}_x}{dx} = \gamma Ae^{\gamma x} - \gamma Be^{\gamma x} \qquad (8)$$

Из второго выражения (3) следует, что

$$\dot{\Phi}_x = -\frac{1}{Z_{mx}} \cdot \frac{d\dot{M}_x}{dx} \qquad (9)$$

Подставляя в последнее выражение уравнение (8), получим:

$$\dot{\Phi}_x = \frac{\gamma}{Z_{mx}} \left(Be^{-\gamma x} - Ae^{\gamma x}\right) \qquad (10)$$

Выражение

$$\frac{\gamma}{Z_{mx}} = \frac{\sqrt{Z_{mx} \cdot g}}{Z_{mx}} = \sqrt{\frac{g}{Z_{mx}}} \qquad (11)$$

В таком случае выражение (10) перепишется так:

$$\dot{\Phi}_x = \sqrt{\frac{g}{Z_{mx}}} \left(Be^{-\gamma x} - Ae^{\gamma x}\right) \qquad (12)$$

Определим постоянные интегрирования А и В.

Выражение для определения магнитного потока (12) и магнитного напряжения (6) справедливы в любом сечении магнитной цепи. Примем, что параметры в начале магнитной цепи известны: магнитный поток Фо и магнитное напряжение Мо. Тогда уравнения (6) и (12) при X=0 примут вид:

Мо=А±В

$$\dot{\Phi}_0 = \sqrt{\frac{g}{Z_{mx}}} \left(B - A\right) \qquad (13)$$

Складывая и вычитая последние равенства, получим постоянные А и В, определенные через магнитное напряжение и магнитный поток в начале магнитной цепи:

$$A = \frac{1}{2}\left(\dot{M}_0 - \sqrt{\frac{Z_{mx}}{g}}\,\dot{\Phi}\right) \quad B = \frac{1}{2}\left(\dot{M}_0 + \sqrt{\frac{Z_{mx}}{g}}\,\dot{\Phi}_0\right) \qquad (14)$$

Подставляя полученные значения А и В в выражения (6) и (12) и произведя соответствующие алгебраические преобразования, получим:

$$\dot{M}_x = \frac{1}{2}\dot{M}_0\left(e^{\gamma x}+e^{-\gamma x}\right) - \frac{1}{2}\sqrt{\frac{Z_{mx}}{g}}\,\dot{\Phi}_0\left(e^{\gamma x}-e^{-\gamma x}\right) \tag{15}$$

$$\dot{\Phi}_x = \frac{1}{2}\dot{\Phi}_0\left(e^{\gamma x}+e^{-\gamma x}\right) - \frac{1}{2}\sqrt{\frac{g}{Z_{mx}}}\,\dot{M}_0\left(e^{\gamma x}-e^{-\gamma x}\right)$$

Введем для изображения параметров магнитной цепи гиперболические функции. Примем во внимание, что

$$\frac{1}{2}\left(e^{\gamma x}-e^{-\gamma x}\right)=sh\,\gamma x \qquad \frac{1}{2}\left(e^{\gamma x}+e^{-\gamma x}\right)=ch\,\gamma x \tag{16}$$

получим выражения (15) в следующем виде:

$$\dot{M}_x = \dot{M}_0\,ch\,\gamma x - \sqrt{\frac{Z_{mx}}{g}}\,\dot{\Phi}_0\,sh\,\gamma x \tag{17}$$

$$\dot{\Phi}_x = \dot{\Phi}_0\,ch\,\gamma x - \sqrt{\frac{g}{Z_{mx}}}\,\dot{M}_0\,sh\,\gamma x$$

Пользуясь полученными выражениями можно определить значение комплексов магнитного потока и магнитного напряжения в любом сечении магнитной цепи с большой степенью точности.

Для инженерных расчетов коротких магнитных цепей, выполненных из материала с высокой магнитной проницаемостью, а следовательно, с малыми удельными магнитными потерями, при достаточно большой величине воздушного зазора δ, можно считать:

$$ch\,\gamma x \approx 1{,}0 \qquad sh\,\gamma x \approx \gamma x$$

Тогда выражения (17) значительно упростятся:

$$\dot{M}_x = \dot{M}_0 - \dot{\Phi}_0 \cdot Z_{mx} \cdot x \qquad \dot{\Phi}_x = \dot{\Phi}_0 - \dot{M}_0 \cdot g \cdot x \tag{18}$$

Автор использовал рассматриваемый метод для расчета ряда выполненных им приборов с прямолинейным перемещением подвижных частей.

Экспериментальные исследования этих приборов показали сравнительно хорошее совпадение опытных и расчетных величин.

В следующем выпуске «Ученых записок» будет опубликован расчет линейных магнитных цепей с переменной высотой воздушных зазоров, то есть с непрерывно изменяющимися распределенными параметрами.

Литература:

1. **Л. Ф. Куликовский,** «Индуктивные измерители перемещений», Госэнергоиздат, 1961 г.
2. **Л. Ф, Куликовский, А. А. Кольцов,** Телеметрическое компенсационное устройство линейных перемещений, «Автоматика и телемеханика», № 3, 1958 г.
3. **Л. Ф. Куликовский, М. Ф. Зарипов,** Преобразователи с распределенными электромагнитными параметрами для измерения больших линейных перемещений, ЦИТЭИН, выпуск 19, 1961 г.
4. **П. Л. Калантаров, Л. Р. Нейман,** «Теоретические основы электротехники», Госэнергоиздат, 1961 г.
5. **Н. Н. Крылов,** «Теоретические основы радиотехники», Издательство «Морской транспорт», 1953 г.

М. И. БЕЛЫЙ,
канд. техн. наук.
Н. П. МАКАРОВ, М. В. БУЧЕНКОВ.

АВТОМАТИЧЕСКИЙ РЕГИСТРИРУЮЩИЙ АМПЕРМЕТР, ВОЛЬТМЕТР И ВАТТМЕТР

В статье рассматриваются новые электроизмерительные приборы с прямолинейным перемещением подвижной системы, которые служат для измерения и автоматической регистрации на движущейся бумажной ленте в прямоугольной системе координат электрического тока, напряжения и мощности переменного тока, а также других электрических и неэлектрических величин, преобразованных в электрический сигнал.

Работа прибора основана на взаимодействии электрического тока сигнала с магнитным потоком в воздушных зазорах прямолинейной магнитной системы. На рис. 1 дана электрическая схема прибора. Магнитопровод выполнен в виде трех стержней (центрального и двух боковых). Стержни имеют такую конфигурацию, что между ними образуется воздушный зазор постоянный по высоте. На концы магнитопровода одеты две катушки возбуждения. Катушки возбуждения соединяются между собой последовательно и таким образом, что магнитные потоки, создаваемые ими, направлены навстречу друг другу. Равные по величине и противоположно направленные магнитные потоки уравновешиваются, поэтому в среднем сечении центрального стержня магнитопровода магнитный поток равен нулю.

При достаточно точном соблюдении высоты воздушного зазора можно считать магнитную индукцию постоянной вдоль длины зазора и магнитный поток в центральном стержне магнитопровода изменяющимся по линейному закону.

Измеряемый сигнал подводится к подвижной катушке с помощью двух пружин, которые одновременно слу-

жат для создания противодействующей силы. Подвижная катушка жестко связана с легким дюралюминиевым каркасом и вместе с ним перемещается по каткам

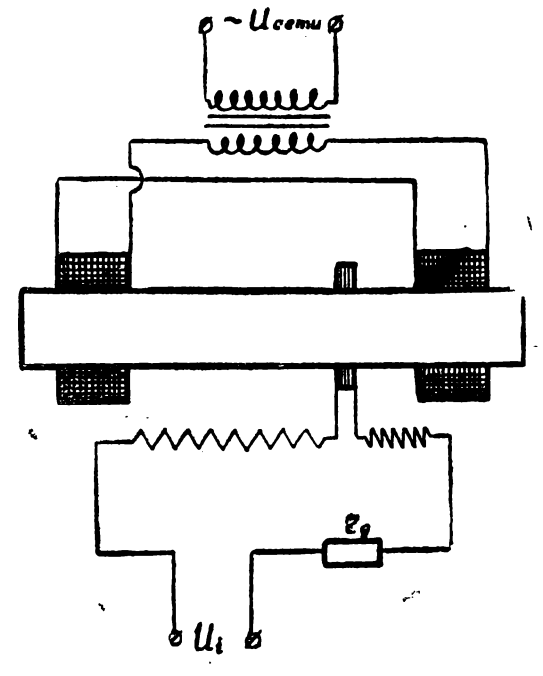


Рис. 1.

в воздушных зазорах магнитопровода. У каркаса края отогнуты под прямым углом и этими прямолинейными направляющими он перемещается в пазах, выполненных по окружности ободов катков. Катки попарно посажены на стальные оси, концы которых установлены в агатовых подшипниках. Подшипники на резьбе ввернуты в стойки, жестко связанные с корпусом прибора. Такая конструкция обеспечивает легкое перемещение катков под действием небольших сил.

В результате взаимодействия тока сигнала с магнитным потоком создается сила, перемещающая подвижную катушку в том или другом направлении от среднего сечения, в зависимости от фазы измеряемого сигнала. Катушка перемещается до тех пор пока сила, ее переме-

щающая, не уравновесится противодействующей силой, создаваемой пружиной. При перемещении катушки вдоль магнитопровода в ней индуктируется электродвижущая сила, пропорциональная перемещению. Чтобы ток индукции не создавал сил, действующих на катушку, последовательно с ней включается большое активное сопротивление. При достаточно большом значении сопротивления ток индукции будет по фазе совпадать с ЭДС, то есть отставать от магнитного потока на 90°.

На подвижной катушке укреплена стрелка и перо для записи. В приборе применен новый тип записывающего пера, перо самоочищается во время работы и этим предотвращается засыхание чернил. Запись производится на бумаге с перфорацией с одной стороны с помощью падающей дужки. Дужка при ударе по концу пера отмечает на движущейся бумажной ленте измеряемую величину в виде тонкого штриха, по типу рейсфедера. Синхронный двигатель перемещает бумагу с линейной скоростью 1 мм/сек. От этого же двигателя осуществляется привод падающей дужки с частотой 60 ударов в минуту. Для чтения диаграммы на лентопротяжном механизме установлена линейка с делениями в миллиметрах. Шкала прибора равномерная, зная цену деления, можно определить измеряемую величину.

Схема включения прибора следующая:

для измерения тока и напряжения к катушкам возбуждения подводится напряжение от сети — 220 в., а измеряемый сигнал (ток или напряжение) подводится к клеммам подвижной катушки. Для расширения пределов измерения тока и напряжения применяются соответственно шунты и дополнительные сопротивления.

При измерении мощности измеряемое напряжение подводится к катушкам возбуждения, а измеряемый ток к подвижной катушке. В этом случае магнитный поток будет пропорционален величине измеряемого напряжения, а сила, действующая на подвижную катушку, следовательно, перемещение катушки, пропорционально активной мощности цепи.

Предлагаемый прибор имеет ряд существенных положительных характеристик:

1. Один прибор с набором шунтов и дополнительных сопротивлений может служить для измерения тока, на-

пряжения и мощности, а также других величин, заданных в виде сигнала переменного тока.

2. Прибор осуществляет измерения и запись исследуемых величин в прямоугольной системе координат, которая является наиболее удобной для чтения и обработки записи.

3. Прибор фазочувствительный.

4. Прибор конструктивно простой, имеет малые габариты и вес.

5. В приборе применяется новый тип записывающего

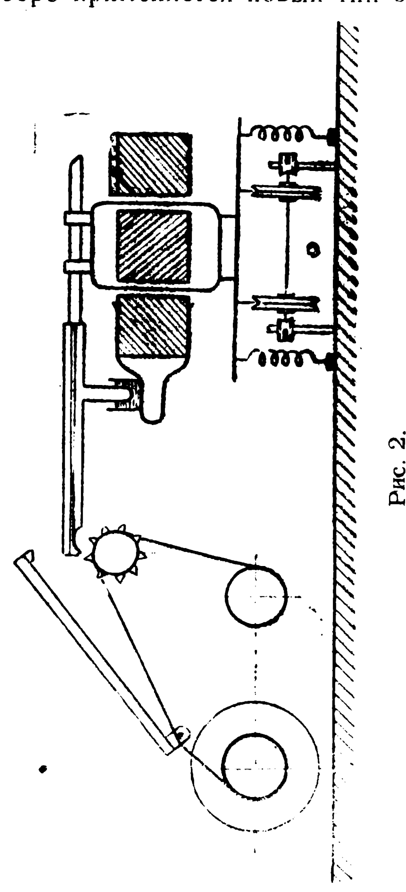


Рис. 2.

пера, осуществляющего хорошую запись тонкими штрихами. Перо самоочищается во время работы и этим предотвращается засыхание чернил, что очень важно для записывающих приборов.

Прибор имеет следующие параметры:

Питание переменным током напряжением 220 в., частотой 50 гц.

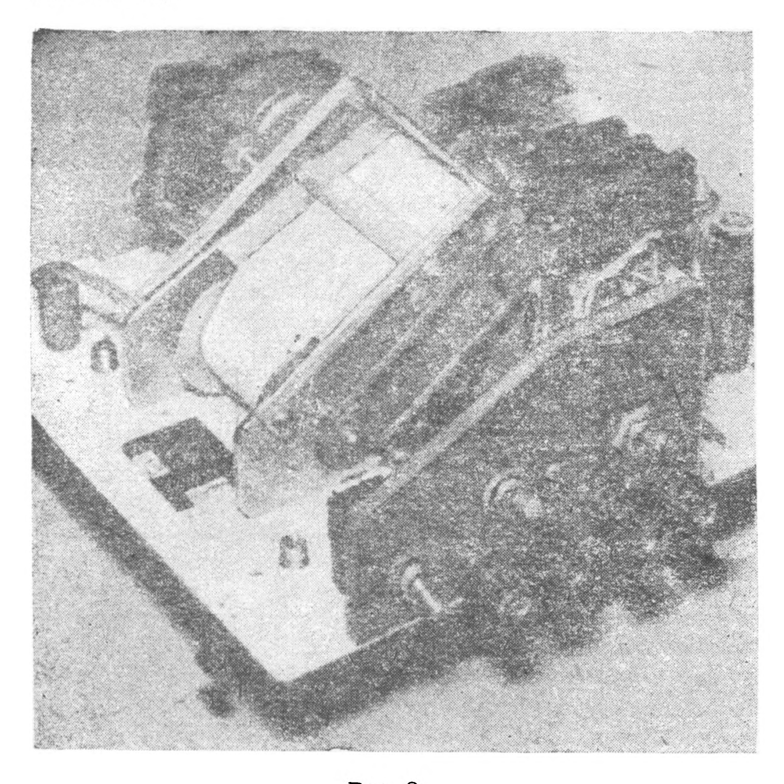


Рис. 3.

Потребляемая мощность — 40 вт.

Вес прибора — 3,8 кг.

Габариты — 250×250×100 mm³.

Постоянная прибора по напряжению — 1,25 в/мм.

Постоянная прибора по току — 0,5 ма/мм.

Ширина диаграммной бумаги — 80 мм.

На рис. 2 показан поперечный разрез прибора, на рис. 3 фотография прибора без крышки.

Литература:

1. **Л. Ф. Куликовский, А. А. Кольцов.**, Телеметрическое компенсационное устройство линейных перемещений, «Автоматика и телемеханика», № 3, 1958 г.

2. **М. И. Белый, Н. П. Макаров**, «Регистрирующий электрический измерительный прибор», авторское свидетельство № 143242, приоритет от 10 апреля 1961 года. Опубликовано в «Бюллетене изобретений» № 23 за 1961 г.

М. И. БЕЛЫЙ
канд. техн. наук.
Н. П. МАКАРОВ

КОМПЕНСАЦИОННЫЙ САМОПИШУЩИЙ ПРИБОР ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО СУММИРОВАНИЯ ДВУХ ПЕРЕМЕННЫХ ВЕЛИЧИН

Авторами разработан и изготовлен компенсационный прибор, служащий для измерения и автоматической регистрации в прямоугольной системе координат сумм и разностей двух переменных величин, заданных в виде электрических сигналов переменного тока.

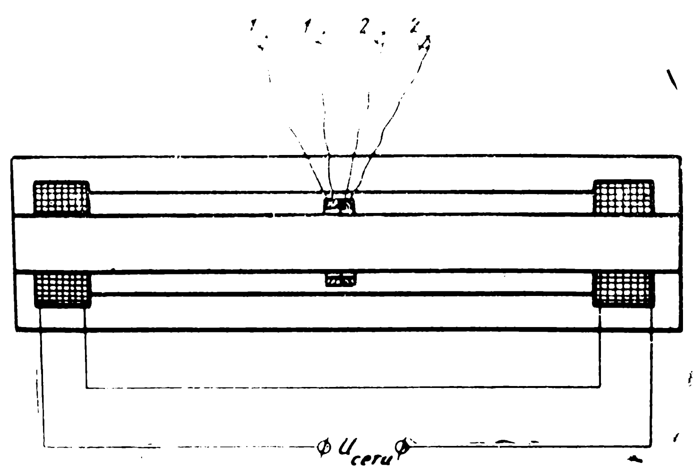


Рис. 1.

На рис. 1 изображена принципиальная схема прибора. Три прямолинейных стержня, выполненные из листовой электротехнической стали, образуют равномерные воздушные зазоры, в которых перемещаются две совершенно одинаковые подвижные рамки, жестко связанные между собой. Такие рамки удобно получить одновременной намоткой двух проводов. Измеряемые токи подво-

дятся к рамкам с помощью трех или четырех безмоментных пружин, в зависимости от измерительной схемы. Обмотки возбуждения, выполненные на концах магнитопровода, создают равные по величине и направленные навстречу друг другу магнитные потоки. Вследствие этого, магнитная индукция в воздушных зазорах остается постоянной вдоль длины, а магнитный поток в магнитопроводе изменяется по линейному закону. В середине центрального стержня магнитопровода магнитный поток равен нулю.

Для измерения разности двух переменных величин из-

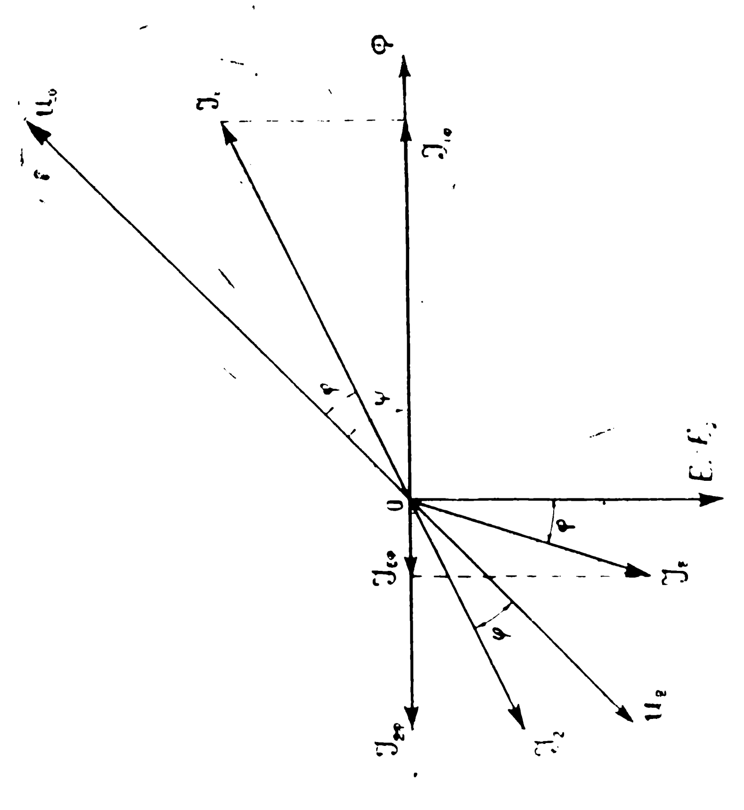


Рис. 2.

мерительная схема должна подавать на рамки напряжения U_1 и U_2 сдвинутые по фазе на 180° друг относительно друга и пропорциональные соответствующим переменным величинам. Пусть, например, напряжение U_1 больше чем напряжение U_2. Напряжение U_1 создает в первой рамке ток I_1 который отстает от напряжения на некоторый угол φ, определяемых соотношением активного и индуктивного сопротивления цепи рамки. Аналогично, напряжение U_2 создает во второй рамке ток I_2 сдвинутый относительно напряжения на такой же угол, в виду полной идентичности рамок. (рис. 2).

В результате взаимодействия активных составляющих токов с магнитными потоками в воздушных зазорах на подвижную часть прибора действуют силы F_1 и F_2:

$$F_1 = 2B_в l W I_{1ф}; \qquad F_2 = 2B_в l W I_{2ф}$$

где $B_в$ — магнитная индукция в воздушных зазорах,
l — длина активной стороны витка,
W — число витков рамки,
$I_{1ф}$ и $I_{2ф}$ — активные составляющие токов в рамках.

Активной будем называть составляющую тока, совпадающую по фазе с магнитным потоком.

$$I_{1ф} = I_{1ф} \cos(\psi - \varphi)$$

$$I_{2ф} = I_2 \cos(180° + \psi - \varphi) = I_2 \cos(\psi - \varphi)$$

Так как $I_{1ф}$ больше чем $I_{2ф}$, то сила F_1 больше чем F_2 и подвижная часть будет перемещаться в сторону большей силы, например, вправо от среднего сечения. В этом случае силу F_1 будем называть движущей, а силу F_2 противодействующей.

При перемещении подвижной части в рамках индуктируются ЭДС $E_1 = E_2$ пропорциональные величине перемещения Эти ЭДС создают в цепи рамок токи I_e активные составляющие которых $I_{eф}$ совпадают по направлению с $I_{2ф}$.

Равновесие подвижной части наступит при равенстве движущих и противодействующих сил, что соответствует равенству активных составляющих токов:

$$I_{1ф} = I_{2ф} + 2I_{eф}.$$

Этому положению равновесия соответствует некоторое перемещение подвижной части от среднего сечения, которое может служить мерой измеряемой разности переменных величин.

Если напряжение U_2 больше чем U_1 то перемещение

подвижной части будет в противоположном направлени то есть сила F_2 будет движущей, а сила F_1 противодейс вующей.

При измерении суммы двух переменных величин изме рительная схема должна подавать на рамки напряжени U_1 и U_2 равные по фазе. Равновесие подвижной систем наступит при равенстве активных составляющих токо

$$I_{1ф}+I_{2ф}=2I_{eф}$$

Аналогично, величина перемещения подвижной част от среднего сечения будет служить мерой измеряемо суммы переменных величин.

Подвижные рамки жестко связаны с прямолинейным направляющими и вместе с ними перемещаются в па зах, выполненных на поверхности катков. На рис. 3 по казана кинематическая схема подвижной части прибо ра. Катки попарно посажены на стальные оси, концы ко торых установлены в агатовых подшипниках. На рамка укреплена стрелка и перо для записи.

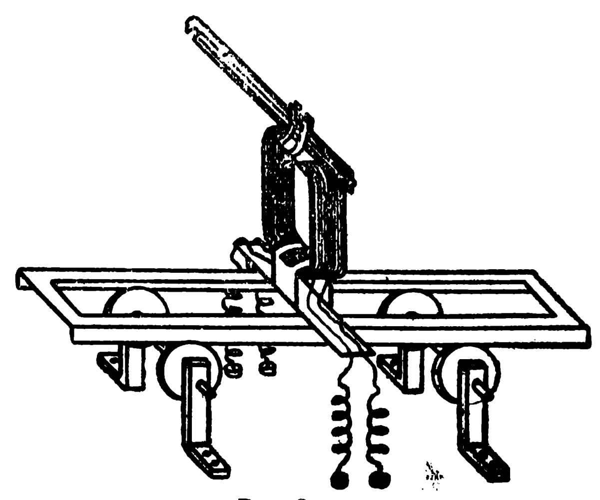


Рис. 3.

В приборе применен новый тип записывающего пер (рис. 4).

Перо состоит из двух тонких металлических Г-обра ных пластин, у которых выдавлены канавки вдоль дли ны. Если пластины сложить вместе, то образуется капил ляр диаметром (0,1—0,2) мм. Пластины соединяют вместе с помощью пружинки, которая одновременно п

сколько сдвигает их друг относительно друга в вертикальном направлении. Запись производится с помощью падающей дужки. Во время записи при нажатии пластины несколько смещаются по плоскости соприкосновения и этим осуществляется систематическая самоочистка пера и предотвращается засыхание чернил, поступающих в перо.

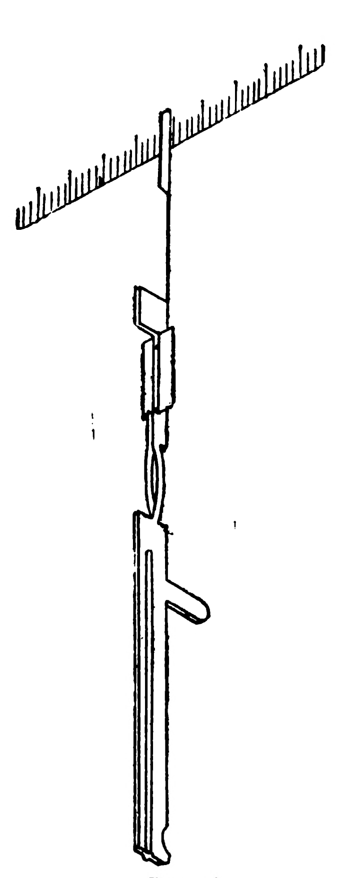


Рис. 4.

Синхронный двигатель перемещает бумагу для записи со скоростью 1 мм/сек. От этого же двигателя осуществляется привод падающей дужки с частотой 60 ударов в минуту. Для чтения диаграммы на лентопротяжном меха-

низме установлена линейка с делениями. Шкала прибора равномерная. Чернила поступают в перо из ванночки, установленной вдоль всей длины магнитопровода. Ванночка на пружинах легко надевается и снимается.

Техническая характеристика выполненного прибора.

1.	Напряжение питания	220 в.
2.	Частота	50 гц.
3	Мощность, потребляемая двигателями и обмоткой возбуждения	40 вт.
4.	Вес прибора	2,5 кг.
5.	Габариты прибора	200×200×100 мм
6.	Рабочая ширина диаграммной бумаги	40 мм.
7.	Основная погрешность	2,5%.
8.	Время успокоения	3 сек.
9.	Вариация показаний	3%.
10.	Собственное потребление мощности	0,97 вт.

Литература:

1. **Л. Ф. Куликовский,** Индуктивные измерители перемещений. Госэнергоиздат, 1961 г.

2. **М. И. Белый. Н. П. Макаров,** «Ферродинамический самопищущий логометр». Авторское свидетельство № 148851, приоритет от 11 мая 1961 года. Опубликовано в «Бюллетене изобретений» № 14 за 1962 г.

3. **М. И. Белый, Н. П. Макаров,** «Перо для чернильной записи к регистрирующему измерительному прибору», Авторское свидетельство № 143243, приоритет от 10 апреля 1961 года. Опубликовано в «Бюллетене изобретений» № 23 за 1961 г.

М. И. БЕЛЫЙ
канд. техн. наук.
Н. П. МАКАРОВ.

ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ ПРИБОР С ПРЯМОЛИНЕЙНЫМ ПЕРЕМЕЩЕНИЕМ ПОДВИЖНОЙ СИСТЕМЫ В ЖИДКОСТИ

В приборостроении все большее применение начинают получать электроизмерительные приборы с линейным перемещением подвижного элемента. Как известно, приборы с прямолинейным перемещением рамки имеют целый ряд важных достоинств: упрощается конструкция подвижной части, уменьшается ее вес и инерционность, облегчается токоподвод, измерение и запись производится в прямоугольной системе координат, поэтому исключаются погрешности, связанные с выпрямляющими устройствами и значительно упрощается наблюдение и обработка результатов записи. Существенным недостатком существующих приборов являются значительные погрешности от трения и низкая чувствительность. У выполненных приборов, в большинстве случаев (Л 1, 2, 3, 4, 5), подвижная часть перемещается на катках, а это, даже при хорошем исполнении, позволяет получить приборы с классом точности порядка 1,5 — 2,5%.

В лаборатории Ульяновского государственного педагогического института разработана и выполнена новая конструкция электроизмерительного прибора, у которого подвижная система перемещается в жидкости (рис. 1). При этом значительно уменьшается вес подвижной системы, резко возрастает точность и чувствительность прибора.

Разветвленная магнитная цепь прибора состоит из трех прямолинейных стержней, набранных из листовой электротехнической стали. Конфигурация стержней выполняется таким образом, что между средним 1 и боковыми 2 стержнями образуются воздушные зазоры δ, постоянные по высоте. В этих зазорах перемещается

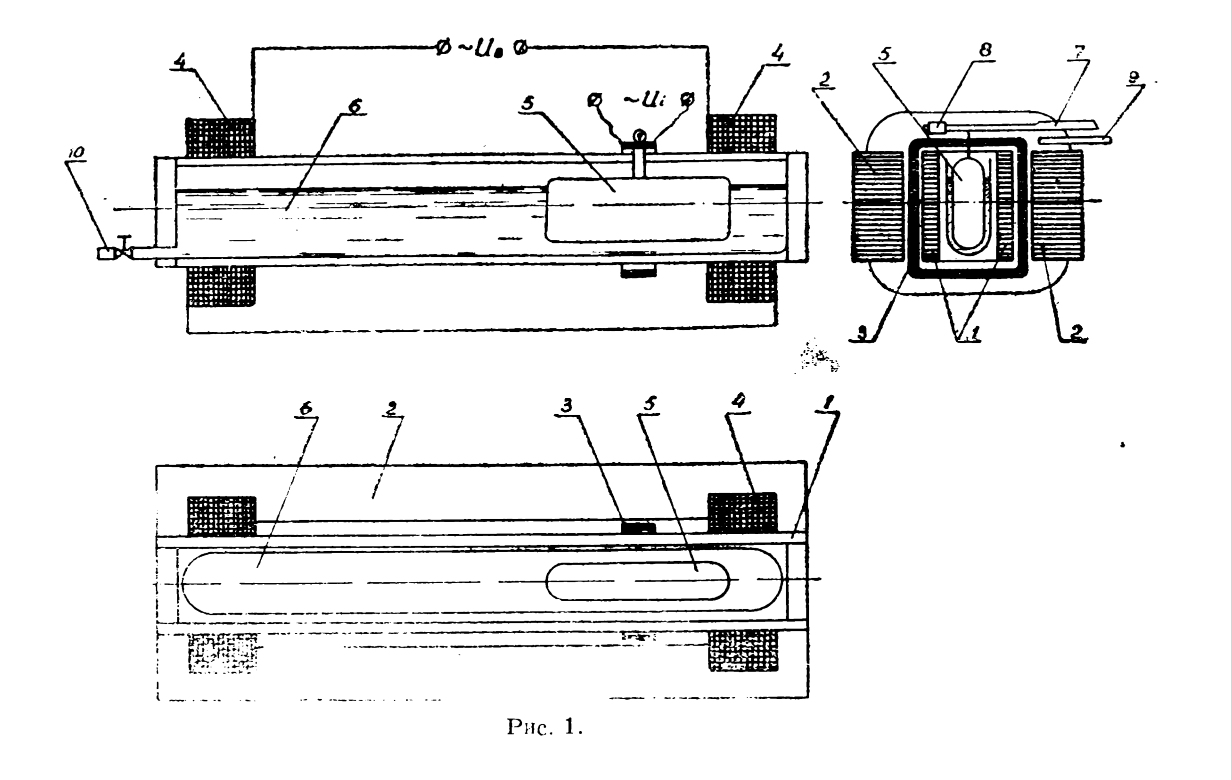


Рис. 1.

легкая бескаркасная рамка 3. В пазах боковых стержней укладываются катушки возбуждения 4. Прибор имеет независимую систему возбуждения. Две одинаковые катушки возбуждения соединяются между собой последовательно и таким образом, что магнитные потоки, создаваемые ими, направлены навстречу друг другу, вследствие этого в середине магнитной цепи величина магнитного потока равна нулю. Будем называть это сечение цепи нейтральным.

Комплекс магнитного потока в любом сечении на расстоянии X от конца магнитопровода, с учетом магнитного сопротивления стали и потоков рассеяния, определяется выражением: (Л. 6).

$$\dot{\Phi}_x = \dot{\Phi}_0 \, ch\gamma x - \sqrt{\frac{g}{Z_{mx}}} \, \dot{M}_0 \, sh\gamma x$$

где Фо и Мо — соответственно комплексы магнитного потока и магнитного напряжения в начале магнитной цепи,

Z_{mx} — магнитное сопротивление единицы длины магнитопровода,

g — проводимость воздушного зазора для магнитного потока на единицу длины магнитопровода.

$$\gamma = \sqrt{Z_{mx} \cdot g}$$

Для магнитопроводов, выполненных из материала с высокой магнитной проницаемостью, а следовательно, с малыми удельными магнитными потерями, при достаточно большой величине воздушного зазора δ можно, с весьма большой степенью точности, пренебречь магнитным сопротивлением стали, то есть считать, что

$$sh\gamma x \approx \gamma x; \qquad ch\gamma x \approx 1;$$

При этом получим линейное изменение магнитного потока в магнитопроводе:

$$\frac{d\Phi_x}{dx} = const \quad (2) \quad \text{или} \quad \frac{d\Phi_x}{dx} = const \quad (3)$$

где Фв — величина магнитного потока в воздушном зазоре. Это означает, что магнитная индукция в воздушных зазорах между стержнями (Вв) остается по величине постоянной.

Если учитывать сопротивление стали, то точность прибора возрастет, при этом магнитное напряжение не будет постоянным, а уменьшается от концов к середине магнитопровода. Комплекс магнитного напряжения в сечениях магнитопровода определяется выражением (Л6):

$$\dot{M}_x = \dot{M}_0 \, ch \gamma x - \sqrt{\frac{\bar{Z}_{mx}}{g}} \, \dot{\Phi}_0 \, sh \gamma x \qquad (4)$$

Чтобы сохранить прямолинейный закон изменения магнитного потока, а следовательно, получить шкалу равномерной, следует выполнить зазор не постоянный по высоте, а несколько уменьшающимся от концов к середине магнитной цепи по закону, определяемому выражением:

$$\delta = \delta_0 + \alpha l$$

где $б_0$ — высота зазора в центре магнитопровода,

l — расстояние от центра до конца магнитопровода,

α — коэффициент, определяемый по кривым испытания стали магнитопровода (Л 5).

Измеряемое напряжение U_i подводится к рамке с помощью двух безмоментных пружин. В результате взаимодействия активной составляющей тока рамки $I_{iф}$ с магнитным потоком в воздушных зазорах, создается тяговое усилие перемещающее рамку в ту или другую сторону от нейтрали, в зависимости от фазы измеряемого напряжения или тока. Активной будем называть составляющую тока в рамке, которая по фазе совпадает с магнитным потоком (рис. 2).

Величина тягового усилия определяется выражением:

$$F_i = 2 B_в A W_p I_{iф}$$

где W_p — число витков рамки,

A — длина активной стороны витка.

Прибор имеет электрическую противодействующую силу. При перемещении рамки изменяется ее магнитное

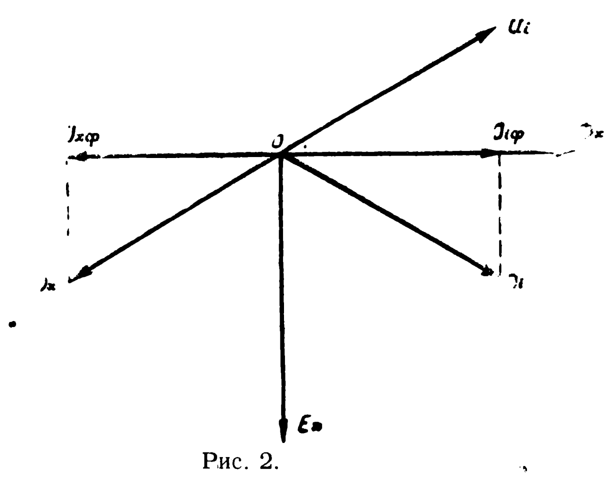


Рис. 2.

потокосцепление, вследствие чего, индуктируемая в рамке ЭДС

$$\dot{E}_x = \omega w_p \dot{\Phi}_x \dot{l}^{-j\frac{\pi}{2}} \qquad (7)$$

изменяет свою величину от нуля, когда рамка находится в среднем положении, до максимума. Индуктируемая ЭДС вызывает в цепи рамки ток I_x. При некотором положении рамки наступает равновесие характеризуемое уравновешиванием активных составляющих токов. В этом положении рамки сила, действующая на нее, равна нулю, и рамка будет находиться в положении устойчивого равновесия.

Перемещение рамки, соответствующее положению равновесия может служить мерой измеряемого напряжения или тока.

Рамка жестко связана с легким поплавком 5, который перемещается в сосуде 6 с жидкостью. Для удобства размещения сосуда и компактности прибора средний стержень магнитопровода 1 выполнен разъемным. Между частями стержня установлен сосуд. Сосуд и поплавок выполнены из материала, который не смачивается заполняющей жидкостью. При несмачивании в слое жидкости, прилегающем к твердому телу, результирующая сила направлена в сторону жидкости.

В равновесном состоянии поверхность жидкости располагается нормально к силе, в результате этого поверхность несмачивающей жидкости имеет выпуклый мениск. Выпуклый мениск с обоих сторон поплавка ориентирует его в середине сосуда, поэтому подвижная система будет устанавливаться и перемещаться строго вдоль магнитопровода. Поперечная устойчивость, то есть отсутствие раскачивания подвижной системы поперек магнитопровода, достигается смещением центра тяжести системы ниже центра симметрии.

В выполненном приборе в качестве жидкости был применен водный раствор, а внутренняя часть сосуда и поплавок покрыты слоем парафина. Можно применить и другие пары твердое тело — жидкость, которые не смачивают друг друга. Например, поверхность сосуда и поплавок покрыть кремний—органическим силиконовым лаком, который не смачивается многими жидкостями.

Известно, что в жидкости практически отсутствует трение покоя, поэтому самая незначительная сила будет перемещать подвижную систему. Прибор имеет высокую чувствительность и высокую точность. Прибор обладает хорошим успокоением без применения специальных устройств.

На рамке укрепляется стрелка 7 и противовес 8. Шкала прибора 9 — равномерная.

На рамке очень просто установить перо для записи и выполнить прибор регистрирующим в прямоугольной системе координат.

Для наполнения и слива жидкости из сосуда выведен кран 10. Перед измерением прибор устанавливается по уровню.

Литература:

1. **Л. Ф. Куликовский**, Индуктивные измерители перемещений, Госэнергоиздат, 1961 г.

2. **М. И. Белый, Н. П. Макаров**, Ферродинамический прямоугольно-координатный вектормер, «Измерительная техника», № 11, 1961 г.

3. **М. И. Белый, Н. П. Макаров**, Электрический прибор для автоматической записи кривых функциональной зависимости, «Приборостроение», № 11, 1961 г.

4. **М. И. Белый, Н. П. Макаров**, Опытный экземпляр ферродинамического самопишущего логометра с прямолинейным перемещением подвижной системы, «Приборостроение», № 6, 1962 г.

5. **А. А. Кольцов,** Трансформаторный измерительный преобразователь больших линейных перемещений, «Известия высших учебных заведений», № 3, 1959 г.

6. **М. И. Белый**, Исследование электроизмерительных приборов с прямолинейным перемещением подвижной системы. Кандидатская диссертация, 1961 г.

М. И. БЕЛЫЙ,
канд техн. наук.
А. Г. ЕВСТИФЕЕВ,

ЭЛЕКТРОННЫЙ ПРИБОР ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ АМПЛИТУДЫ, ЧАСТОТЫ И УСКОРЕНИЯ ВИБРАЦИЙ

Различные виды машин, станков, измерительные приборы и аппараты в процессе работы часто подвергаются воздействию механических вибраций (колебаний) различной частоты, амплитуды и ускорения.

Превышение указанных в технических условиях параметров вибраций может привести к выходу из строя целых агрегатов и установок, а также измерительных приборов. Поэтому в процессе эксплуатации и при проведении технических испытаний очень важно контролировать значение величин амплитуды, ускорения и частоты вибраций.

В последние годы для измерения этих параметров начали применяться электрические приборы, основанные на электрических измерениях неэлектрических величин. Такие приборы обеспечивают высокую точность, надежность и удобство в эксплуатации. Рабочие шкалы приборов градуируются непосредственно в единицах амплитуды, ускорения и частоты.

Существенный недостаток существующих приборов заключается в том, что они порознь измеряют данные параметры, то есть каждый прибор служит для измерения одного из данных параметров.

Авторами статьи разработан прибор, позволяющий одновременно производить замер всех трех параметров вибраций различных установок как при их эксплуатации, так и в период испытаний.

В качестве преобразователей механических колебаний в электрические сигналы используются индукционные датчики. Индукционными датчиками называются преобразователи, в которых измеряемая неэлектрическая (ме-

ханическая) величина преобразуется в индуктированную ЭДС.

В преобразователе катушка с числом витков W механически связана с испытуемым объектом и перемещается относительно постоянного магнита в соответствии с колебаниями объекта измерения. Согласно закону электромагнитной индукции, индуктированная в катушке ЭДС, определяется скоростью изменения магнитного потока постоянного магнита Ф- сцепленного с катушкой:

$$e = -W\frac{d\Phi}{dt}$$

Следовательно, индукционные преобразователи могут применяться для измерения скорости линейных перемещений.

К индукционным датчикам, служащим для измерения колёбаний предъявляются требования минимального искажения измеряемого сигнала и безинерционного следования подвижной части датчика за всеми перемещениями измеряемого объекта.

Чтобы установить условия, при которых эти требования выполняются, а также средства увеличения точности, рассмотрим уравнение движения подвижной части датчика. Принципиальную схему датчика можно представить в следующем виде (рис. 1). Катушка датчика

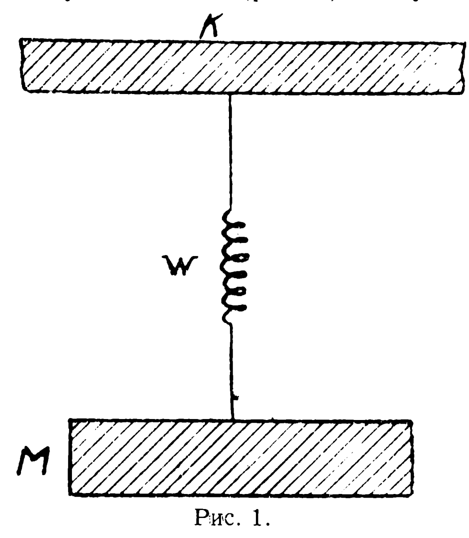


Рис. 1.

жестко связана с объектом измерения. Примем, что колебания объекта измерения происходят по закону синуса:

$$K = K_{max} \sin \omega t \qquad (2)$$

Подвижная часть датчика с постоянным магнитом связана с корпусом с помощью пружины жесткостью — W. Для простоты расчета тормозящими силами успокоения пренебрежем.

Колебания подвижной части будут также синусоидальными, но сдвинутыми по фазе на некоторый угол ψ

$$У = У_{max} \sin (\omega t - \psi)$$

Перемещение подвижной части М с массой m относительно основания К представим уравнением:

$$Z = K - У = Z_{max} \sin (\omega t - \varphi) \qquad (3)$$

Дифференциальное уравнение движения массы m для любого момента времени можно написать в следующем виде:

$$m \frac{d^2 y}{dt^2} = WZ \qquad (4)$$

Учитывая, что $У = K - Z$ уравнение движения напишем в следующем виде:

$$m \frac{d^2 K}{dt^2} \quad m \frac{d^2 Z}{dt^2} = WZ \qquad (5)$$

или

$$m \frac{d^2 Z}{dt^2} + WZ = m \frac{d^2 K}{dt^2}$$

Так как

$$\frac{d^2 Z}{dt^2} = -Z_{max} \omega^2 \sin (\omega t - \varphi)$$

и

$$\frac{d^2 k}{dt^2} = -K_{max} \omega^2 \sin \omega t = -K\omega^2$$

то для мгновенных значений имеем:

$m\omega^2 + WZ = -m\omega^2 K,$ откуда

$$Z = \frac{m\omega^2 K}{m\omega^2 - W} \qquad (6)$$

Жесткость пружины W определяет частоту ω_0 собственных колебаний системы:

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{W}{m}} \qquad W = \omega_0^2 m$$

Если обозначить $\omega/\omega_0 = \beta$ получим для Z следующее выражение:

$$Z = \frac{m\omega^2 K}{m\omega^2 - m\omega_0^2} = \frac{m\omega^2 K}{m\omega_0^2(\beta^2 - 1)} = \frac{\beta^2 K}{\beta^2 - 1} \qquad (7)$$

или

$$Z_{max} \sin(\omega t - \varphi) = \frac{\beta^2}{\beta^2 - 1} K_{max} \sin \omega t$$

таким образом

$$Z_{max} = K_{max} \frac{\beta^2}{\beta^2 - 1} \qquad (8)$$

Если $\beta = \frac{\omega}{\omega_0}$ достаточно мало, то есть $\frac{\omega}{\omega_0} \ll 1$

то

$$Z_{max} = -K_{max} \cdot \beta^2 = -K_{max} \frac{\omega^2}{\omega_0^2} \qquad (9)$$

Но $K_{max}\omega^2$ — есть амплитуда ускорения колебаний объекта и, следовательно, постоянный магнит будет перемещаться относительно катушки с амплитудой, пропорциональной ускорению объекта измерения. Следовательно, при достаточно малой массе m и большой жесткости пружины, а также относительно низкой частоте измеряемого колебания, ЭДС, индуктируемая в катушке, в каждый момент времени пропорциональна ускорению измеряемого объекта.

Если же $\beta=\omega/\omega_0$, наоборот, достаточно велико ($\omega>>\omega_0$), то $Z_{max}=K_{max}$. Магнит будет неподвижен в пространстве.

Таким образом, при достаточно большой массе m, малой жесткости пружины и достаточно высокой частоте измеряемых колебаний, можно считать, что масса m остается неподвижна относительно земли, при этом перемещение катушки относительно магнита будет воспроизводить измеряемое перемещение. На основании данных соображений и выбраны параметры датчика.

Погрешность преобразования определяется величиной β..

При значениях β, отличающихся от единицы в 10 и более раз, эта погрешность не выходит за пределы десятых долей процента.

Для измерения амплитуды колебаний, переменная ЭДС преобразователя пропорциональная скорости колебаний, интегрируется в цепи R_2C_2. Заряд конденсатора $Q=C_2U_c$. Любые изменения ЭДС вызывают соответствующие изменения заряда конденсатора, следовательно, тока в контуре:

$$i=\frac{dQ}{dt}=C_2\frac{dU_c}{dt} \qquad (10)$$

Падение напряжения на сопротивлении R_2 (рис. 2).

$$U_R=iR_2=R_2C_2\frac{dU_c}{dt} \qquad (11)$$

Согласно второго закона Кирхгофа для мгновенных значений падений напряжений:

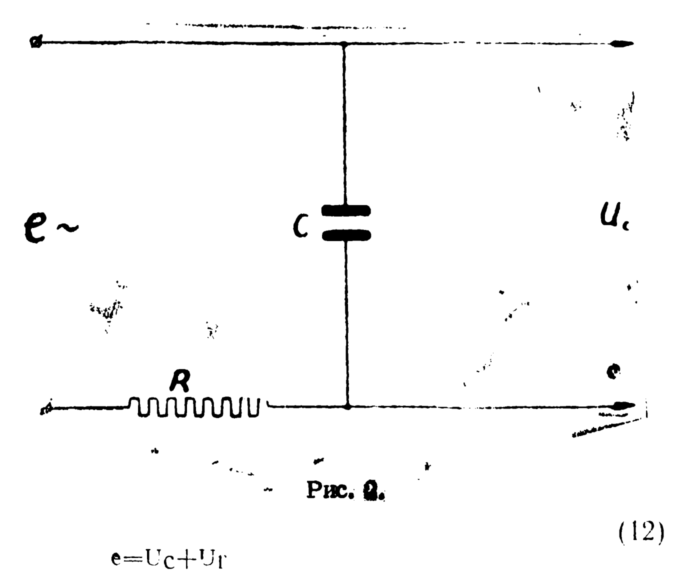


Рис. 9.

$$e = U_c + U_r \tag{12}$$

или, подставляя значение U_r из формулы (11), получим для контура следующее уравнение:

$$\frac{dU_c}{dt} + \frac{U_c}{R_2 C_2} = \frac{e}{R_2 C_2} \tag{13}$$

где $R_2C_2 = \tau_2$—постоянная времени контура.

Если подобрать R_2 C_2 достаточно большим, так что вторым членом в левой части равенства (13) можно пренебречь, то получим приближенное равенство:

$$\frac{dU_c}{dt} \approx \frac{e}{R_2 C_2} \tag{14}$$

откуда напряжение

$$U_c = \frac{1}{R_2 C_2} \int_0^t e\,dt \tag{15}$$

Следовательно, если переменная ЭДС преобразователя пропорциональна скорости колебаний, то напряжение на емкости будет пропорционально амплитуде колебаний.

Как следует из вывода, чем больше постоянная времени цепи $R_2 C_2$, тем точнее интегрирование, то есть меньше инерционная погрешность цепи. Однако величина постоянной времени не должна быть очень большой, так как в этом случае абсолютная величина U_c будет слишком малой для ее точного определения. Чтобы определить потребное значение постоянной времени следует задаться допустимой погрешностью цепи.

Для определения выражения погрешности цепи напишем второй закон Кирхгофа в комплексной форме. При этом будем считать, что индуктируемая ЭДС—синусоидальная функция времени:

$$\dot{E} = R_2 \dot{J} + \frac{\dot{J}}{j\omega C_2} \qquad (16)$$

откуда

$$\dot{J} = \frac{\dot{E}}{R_2 + \frac{1}{j\omega C_2}} \qquad (17)$$

и выходное напряжение:

$$\dot{U}_c = \dot{J} \cdot \frac{1}{j\omega C_2} = \frac{\dot{E}}{R_2 + \frac{1}{j\omega C_2}} \cdot \frac{1}{j\omega C_2} = \frac{\dot{E}}{j\omega R_2 C_2 + 1} =$$

$$= \frac{\dot{E}}{j\omega}\left(\frac{1}{R_2 C_2 + \frac{1}{j\omega}}\right) = \frac{1}{R_2 C_2}\,\frac{\dot{E}}{j\omega}\left(\frac{1}{1 + \frac{1}{j\omega R_2 C_2}}\right)$$

Член в скобках характеризует погрешность интегрирования. Этот член превращается в единицу лишь при

$R_2C_2 \to \infty$, но при этом $U_c \to 0$

Приведенная погрешность по амплитуде колебаний, обусловленная конечным значением постоянной времени τ_2 выражается:

$$\gamma = \frac{1}{2R_2^2C_2^2\omega^2} = \frac{T^2}{2\tau_2^2 4\pi^2} = \frac{1}{2}\left(\frac{T}{2\pi\tau_2}\right)^2 \approx \frac{1}{80}\left(\frac{T}{\tau_2}\right)^2 \quad (18)$$

Задаваясь максимально допустимой погрешностью по амплитуде можно определить необходимое отношение τ_2/T, а при заданной частоте, и постоянную времени $\tau_2 = R_2 C_2$. Например, если принять допустимую приведенную погрешность $\gamma = 1\%$, то значение τ_2/T будет равно 1,1. При данной максимальной приведенной погрешности можно определить какую часть E составляет U_c.

$$\gamma = \frac{1}{2R_2^2C_2^2\omega^2} = \frac{1}{2}\left(\frac{I_{c2}}{R_2}\right)^2 \approx \frac{1}{2}\left(\frac{U_c}{E}\right)^2 \quad (19)$$

Поэтому при $\gamma = 1\%$.

$$\frac{U_c}{E} = \sqrt{\frac{1}{50}} \approx \frac{1}{7}$$

Для измерения ускорения колебаний переменная ЭДС датчика дифференцируется в цепи $R_1 C_1$ (рис. 3). Выходное напряжение пропорциональное ускорению колебаний снимается с сопротивления R_1. Для доказательства этого положения продифференцируем равенство (12) по времени:

$$\frac{de}{dt} = \frac{dU_c}{dt} + \frac{dU_R}{dt} \quad (20)$$

Из равенства (11) следует, что

$$\frac{dU_c}{dt} = \frac{U_R}{R_1 C_1} \quad (21)$$

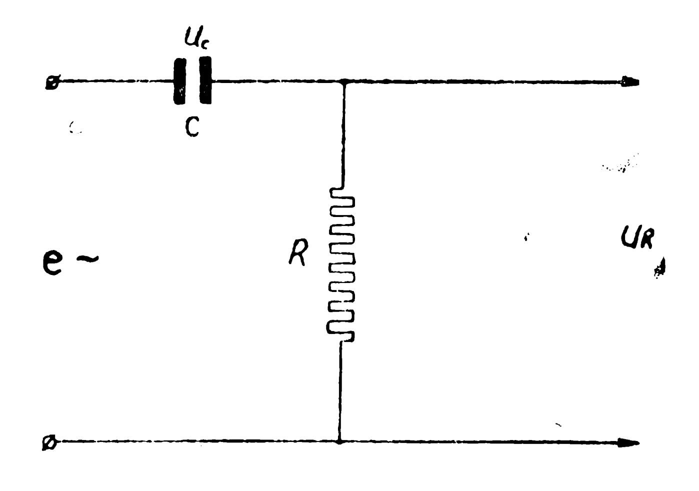


Рис. 3.

Подставляя это значение в формулу (20) получим:

$$\frac{de}{dt} = \frac{U_R}{R_1 C_1} + \frac{dU_R}{dt} \qquad (22)$$

Если постоянную времени цепи $\tau_1 = R_1C_1$ выбрать настолько малой, что можно пренебречь вторым членом правой части равенства (21) по сравнению с первым, то получим приближенно:

$$U_R \approx R_1 C_1 \frac{de}{dt} \qquad (23)$$

Таким образом, напряжение, снимаемое с сопротивления R_1, пропорционально производной от переменной ЭДС по времени. Но так как переменная ЭДС датчика пропорциональна скорости колебаний, то напряжение на сопротивлении пропорционально ускорению колебаний. Из формулы видно, что чем больше постоянная времени цепи, тем больше инерционная погрешность. С уменьшением постоянной времени инерционная погреш-

ность уменьшается, но вместе с тем уменьшается и абсолютная величина напряжения Ur.

По аналогии с интегрирующей цепочкой можно определить приведенную погрешность для дифференцирующей цепочки.

$$\gamma = \frac{R_1^2 C_1^2 \omega^2}{2} = \frac{1}{2}\left(\frac{2\pi\tau_1}{T}\right)^2 = 20\left(\frac{\tau_1}{T}\right)^2 \qquad (24)$$

Если также принять допускаемую приведенную погрешность $\gamma = 1\%$, то для дифференцирующей цепочки

$\tau/T = 0{,}022$

Как следует из изложенного, точность измерения амплитуды ускорения вибраций определяется величиной постоянной времени контура $\tau_1 = R_1C_1$

Рассмотрим точное решение дифференциального уравнения (13) для случая, когда индуктируемая ЭДС синусоидальная функция времени.

$e = E_m \sin(\omega t + \alpha)$

где α — начальная фаза.

Уравнение (13) можно представить в следующем виде:

$$R_2 C_2 \frac{dU_c}{dt} + U_c = e \qquad (26)$$

Решение данного дифференциального уравнения без свободного члена как известно имеет вид:

$$U_e'' = K e^{-\frac{t}{\tau_2}} \qquad (27)$$

где K — постоянная интегрирования.

А напряжение $U_c = U_c^{I} + U_c^{II}$.

где U_c^{I} — частное решение дифференциального уравнения (26) со свободным членом.

$$U_c' = \frac{J_m}{\omega C_2} \sin\left(\omega t + \alpha - \varphi - \frac{\pi}{2}\right) = -\frac{J_m}{\omega C_2} \cos(\omega t + \alpha - \varphi) \qquad (28)$$

так как

$$i' = \frac{e}{z} = \frac{E_m}{z} \sin(\omega t + \alpha - \varphi) = J_m \sin(\omega t + \alpha - \varphi)$$

где Z — полное сопротивление цепи R_2 C_2.

$$Z = \sqrt{R_2^2 + \left(\frac{1}{\omega C_2}\right)^2}.$$

φ — угол сдвига фаз между напряжением и током.

$$\varphi = arctg \frac{1}{R_2 \omega C_2}$$

Следовательно

$$U_c = \frac{J_m}{\omega C_2} \cos(\omega t + \alpha - \varphi) + K e^{\frac{t}{R_2 C_2}} \qquad (29)$$

Постоянную интегрирования К определяем из начальных условий. Например, будем считать, что при $t_0 = 0$, $U_c(0) = 0$,

Следовательно:

$$-\frac{J_m}{\omega C_2} \cos(\alpha - \varphi) + K = 0 \qquad K = \frac{J_m}{\omega C_2} \cos(\alpha - \varphi)$$

Поэтому

$$U_c = -\frac{J_m}{\omega C_2} \cos(\omega t + \alpha - \varphi) + \frac{J_m}{\omega C_2} \cos(\alpha - \varphi) e^{-\frac{t}{R_2 C_2}} \qquad (30)$$

Из выражения (30) видно, что теоретически равенство (15) будет справедливо через бесконечно большой промежуток времени, с момента начала изменения величины ЭДС, так как на синусоидально изменяющуюся величину

$$\frac{J_m}{\omega C_2} \cos(\omega t + \alpha - \varphi)$$

накладывается другая величина, уменьшающаяся по показательному закону. Практически при достаточно большом значении τ_2 вторая величина, определяемая членом $e^{-\frac{t}{\tau_2}}$, будет уже достаточно малой через не-

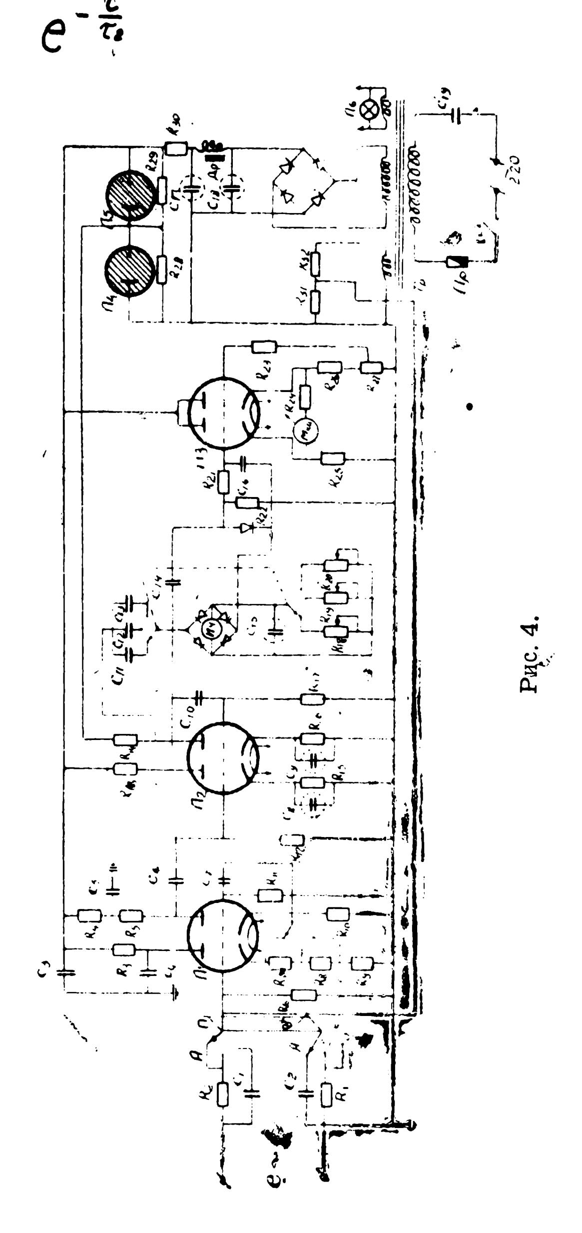


Рис. 4.

большой интервал времени, исчисляемый долями секунды.

Проинтегрированный или продифференцированный сигнал подается на вход катодного повторителя, собранного на левой половине лампы Л, типа 6Н2П (рис. 4). Катодный повторитель обладает большим входным сопротивлением и не оказывает шунтирующего действия на датчик. Коэффициент усиления каскада около единицы и напряжение на катодной нагрузке повторяет форму напряжения, поступающего на управляющую сетку. С катодной нагрузки R_7, R_8, R_9, используемой одновременно как делитель напряжения, сигнал через переключатель $П_2$ и конденсатор C_7 подается на управляющую сетку первого каскада усилителя по напряжению собранного на правой половине той же лампы. С анодной нагрузки R_5 через конденсатор C_6 сигнал подается на второй каскад усилителя по напряжению, собранный на левой половине лампы $Л_2$ типа 6Н1П, затем с анодной нагрузки R_{13} и конденсатор C_{14} поступает на амплитудный детектор $Д_1$ и одновременно на управляющую сетку правой половины лампы $Л_2$. Амплитудный детектор выполнен на германиевом диоде Д7Г.

Постоянная времени ячейки R_{22} C_{14} фильтра R_{21} C_{16} детектора подобрана так, что в рабочем диапазоне частот на сетку лампы $Л_3$ поступает постоянное напряжение конденсатора C_{14}, равное двойной амплитуде усиленного сигнала датчика.

Выходной каскад усилителя амплитуды собран по балансной схеме на двойном триоде (лампа $Л_3$ типа 6Н1П) и работает как обычный усилитель постоянного тока.

В качестве стрелочного указателя амплитуды используется микроапмерметр типа М-24, включенный через добавочное сопротивление между катодами ламп выходного каскада. Установка нуля осуществляется потенциометром R_{27}, изменяющим потенциал сетки второй лампы выходного каскада. Диапазон измерения амплитуды разбит на три поддиапазона и устанавливается с помощью переключателя $П_2$.

В целях получения условий для замера частоты в широком диапазоне, применяется конденсаторный метод. Усиленный сигнал через конденсатор C_{10} поступает на управляющую сетку правой половины лампы $Л_2$, выпол-

няющую роль электронного ключа, управляемого переменным напряжением, частоту которого нужно измерить. При поступлении на сетку отрицательного полупериода измеряемого сигнала лампа запирается и один из конденсаторов C_{11}, C_{12}, C_{13} (в зависимости от измеряемого диапазона) заряжается от источника питания через сопротивление R_{14} и стрелочный измеритель «ИЧ». При подаче на сетку положительного полупериода лампа отпирается и данный конденсатор разряжается через лампу и измерительный прибор. Таким образом, стрелочный измеритель регистрирует как зарядный, так и разрядный ток конденсатора и его показания пропорциональны количеству зарядов и разрядов в секунду.

Среднее значение тока, протекающего через измерительный прибор в единицу времени, равно:

$$I_{cp} = CU_c f$$

где U_c — напряжение до которого заряжается конденсатор,

f — частота импульсов тока в измерительной цепи.

Как видно, при постоянном напряжении средняя величина тока, а следовательно, и величина отклонения стрелки микроамперметра, зависит от емкости конденсатора и частоты f. Если взять для каждого поддиапазона емкость конденсатора постоянной, то показания прибора будут зависеть только от частоты измеряемого сигнала.

Следует отметить, что применение конденсаторного метода измерения частоты вибраций имеет ряд преимуществ:

1. Позволяет расширить диапазон измеряемых колебаний как в сторону низких, так и в сторону высоких частот.

2. В приборе могут быть использованы как индукционные, так и пъезоэлектрические датчики.

3. Показания частоты в меньшей степени зависят от амплитуды и формы кривой напряжения сигнала.

4. Пределы измерения — число поддиапазонов, и следовательно, точность отсчета по частоте, может быть выбрана согласно заданных условий.

Измерение частоты в приборе производится при постановке переключателя $П_1$ в положение «частота» (f), а необходимый диапазон устанавливается переключателем $П_3$.

При измерении амплитуды переключатель ставится в положение «амплитуда» (А), для измерения ускорения — в положение «ускорение» (g). Пределы измерения частоты для каждого поддиапазона регулируются с помощью сопротивлений R_{18}, R_{19}, R_{20}. Для отсчета величины ускорений колебаний используется тот же прибор, что для измерения амплитуды, на котором нанесена вторая шкала, градуированная непосредственно в единицах ускорения.

Таким образом, прибор позволяет производить измерение всех трех параметров вибраций. Контроль исправности работы прибора производится путем подачи на вход усилителя стабилизированного контрольного сигнала с частотой 50 гц, тумблер (ВК) ставится в положение «контроль». При этом указатель частоты на любом пределе измерения должен показать частоту равную 50 гц.

Питание прибора осуществляется от сети переменного тока напряжением 220 в. Питающее напряжение стабилизируется с помощью феррорезонансного стабилизатора Тр C_{19}. Выпрямленное анодное напряжение усилителя и частотомера дополнительно стабилизируется газовыми стабилизаторами $Л_4$ и $Л_5$ типа СГ1П и СГ2П. Выпрямитель собран по двухполупериодной схеме на полупроводниках Д7Ж.

Выполненный прибор имеет следующие параметры:

1. Диапазон измеряемых частот 0—500 гц. Разбит на три поддиапазона,

а) 0—50 гц,
б) 0—200 гц,
в) 0—500 гц.

Точность измерения ±1,5%.

2. Диапазон измерения амплитуды колебаний 0—2,5 мм. Разбит на три поддиапазона,

а) 0—0,1 мм,
б) 0—0,5 мм,
в) 0—2,5 мм.

Точность измерения ± 5%.

3. Диапазон измерения ускорений 0—5g. Разбит на три поддиапазона,

а) 0 — 0,5 g,
б) 0 — 2,5g,
в) 0 — 5,0g.

4. Размеры прибора 360×160×220 мм³. Вес прибора 6 кг.

Колебания напряжения сети на ± 10% на точность показаний не влияют.

Прибор успешно применяется на одном из предприятий г. Ульяновска. Результаты двухлетнего использования прибора показали его эффективность, надежность в эксплуатации и достаточную точность.

Ю. К. ВИТЬКО

К ВОПРОСУ О КОНТРОЛЕ НАПРЯЖЕНИЯ В НИЗКОВОЛЬТНЫХ СЕТЯХ

Как известно, в процессе эксплуатации низковольтных сетей по тем или иным причинам происходит снижение или повышение напряжения до недопустимых пределов, а также наблюдаются случаи перекоса или полного исчезновения напряжения одной, двух или всех трех фаз основного источника энергии.

Для повышения качества и бесперебойности электропитания ответственных нагрузок, что достигается за счет автоматизации электроснабжения, применяется автоматическое включение резервного питания (АВР). При этом эффективность использования основного и резервного источника электропитания нагрузки в значительной степени зависит от параметров, по которым контролируется напряжение основного источника входными устройствами АВР.

В настоящее время находят применение устройства АВР, контролирующие наличие напряжения на каждой фазе источника питания. В случае обрыва одной или двух фаз, а также полного исчезновения напряжения на всех трех фазах источника переменного напряжения, срабатывают реле, включая последующие цепи АВР в действие.

В качестве примера на рис. 1 приведена схема входного устройства АВР, работа которой осуществляется по этому принципу. В этой схеме конденсаторы C_1 и C_2, сопротивления R_1 и R_2 подобраны так, что при отсутствии обрыва фаз потенциалы в точках Д и Е равны, и вследствие этого, реле I РП обесточено.

В случае обрыва хотя бы одной из фаз, между точками Д и Е возникает напряжение достаточное для срабатывания реле 1РП, которое своими нормально-замкну-

тыми контактами обесточит реле 2РП и остальная схема АВР будет приведена в действие.

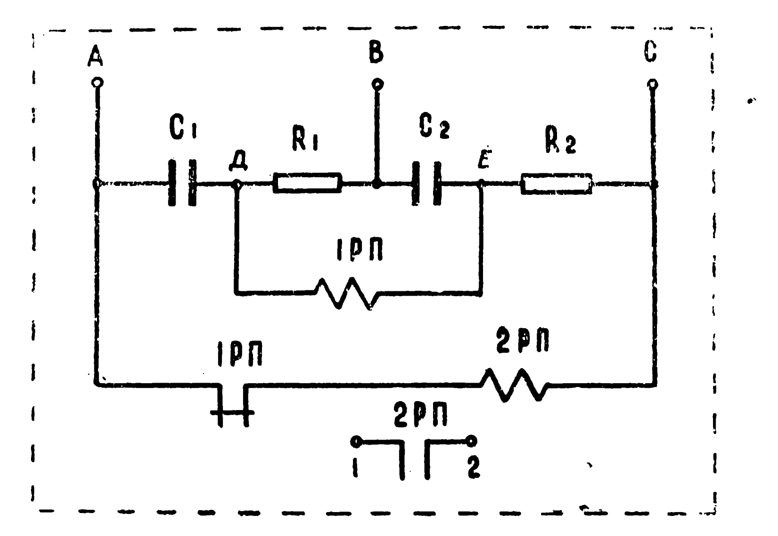


Рис. 1.

Схема контроля обрыва фаз сети переменного тока напряжением 380 (220 в); пунктиром обведены элементы, входящие в состав реле Е-511; 1—2 клеммы последующих цепей АВР.

При полном исчезновении напряжения источника реле 1РП обесточивается и схема АВР работает в той же последовательности.

На рис. 2 (а и б) приведены схемы входных устройств, первая из которых обеспечивает контроль обрыва одной или нескольких фаз и наличия напряжения с помощью трех реле минимального напряжения типа ЭН-529, а вторая — обеспечивает только контроль по перекосу напряжения на фазах сети (включая и обрыв фазы — как частный случай). Однако эта схема (рис. 2-б) не реагирует на полное исчезновение напряжения на шинах нагрузки.

Серьезным недостатком существующих схем входных устройств АВР является отсутствие возможности контролировать отклонения напряжения за допустимые верхний и нижний пределы в зависимости от режима сети и требований к качеству напряжения со стороны нагрузки. Однако ,следует обратить внимание на имеющиеся трудности в этом вопросе, заключающиеся в том,

что для обеспечения контроля уровня напряжения, с достаточной точностью, использовать принципы, по которым построены рассмотренные выше схемы, не представляется возможным вследствие наличия у реле коэффициента возврата. Поэтому для решения этой задачи, ав-

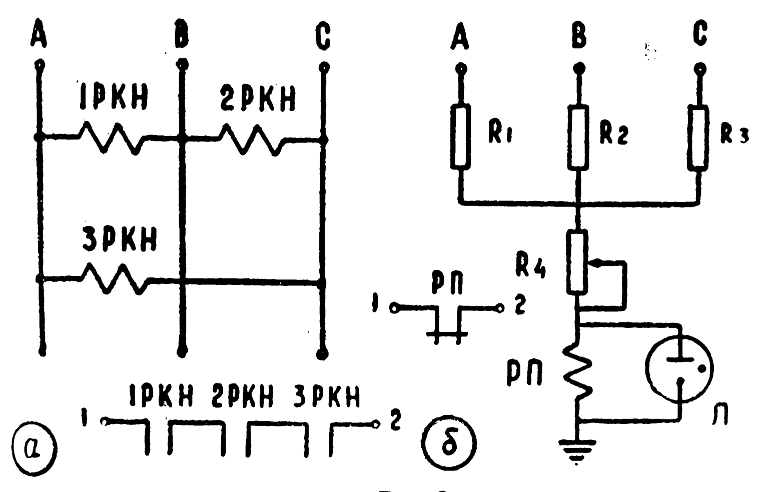


Рис. 2.

а) схема контроля обрыва фаз и наличия напряжения на шинах нагрузки; б) схема контроля обрыва фаз; 1—2 клеммы последующих цепей АВР.

тором статьи была разработана специальная схема (рис. 3), использующая известные свойства измерительного моста. Особенностью схемы является включение в одно из плеч моста газового стабилизатора напряжения. В остальные три плеча моста включены постоянные сопротивления.

В измерительную диагональ моста Д-Е включены обмотки Р-I и Р-II последовательно с сопротивлениями R_6 и R_7 и диодами D_2 и D_3, соответственно так, что при повышении потенциала Д ток проходит через Р-1 и $Д_2$, а при понижении — через $Д_3$ и Р-II.

Сопротивления R_6 и R_7 служат для установки верхнего и нижнего пределов использования напряжения основного источника.

На диагональ питания моста А-Б подается напряжение фазы, уровень которого необходимо контролировать в заданных пределах. Номинальное его значение, в соответствии с режимом сети, устанавливается с помощью

сопротивления R_5 путем выбора потенциала Д. При изменении напряжения фазы, а следовательно, и величины напряжения в диагонали А-Б, потенциал Е будет поддерживаться газовым стабилизатором достаточно постоянным, а потенциал Д будет меняться как по величине, так и по знаку, создавая ток в диагонали, то в одном, то в обратном направлении.

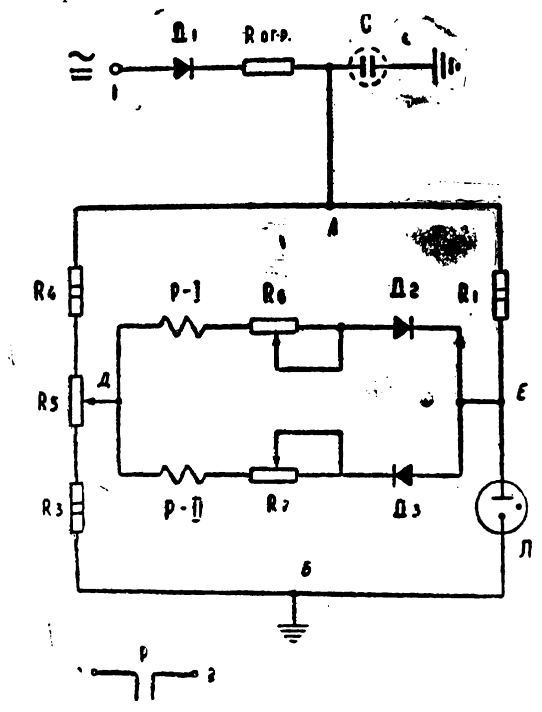


Рис. 3.

Схема контроля уровня напряжения сети переменного или постоянного тока. 1 — клемма одной из фаз сети; Д — диод Д7Г; R огр. — ограничивающее сопротивление; С — емкость для сглаживания пульсаций; R_1 — сопротивление ВС-2-10; Л — газовый стабилизатор напряжения СГ3с; R_5 — ВС-2-4,7; R_4 — ВС-2-5,2; R_5 — СП-2-9; R_6, R_7 — СП-0,5-47; $Д_2$, $Д_3$ — Д2Е; Р-I и Р-II обмотки поляризованного реле РП-7 (при использовании реле РП-5 в диагональ Д-Е предлагается включить обмотку VII последовательно с сопротивлением 15—20 килоом и диоды — $Д_2$ и $Д_3$ из схемы исключить).

Эти изменения потенциала Д будут фиксироваться

чувствительным двухобмоточным реле. Таким образом, путем сравнения двух напряжений стабилизированного в точке Е и нестабилизированного в точке Д,—пропорционального напряжению на шине нагрузки, схема позволяет в широких пределах как задавать, так и контролировать напряжение сети постоянного или переменного тока по верхнему или нижнему допустимым пределам.

Для проведения эксперимента схема (рис. 3) была смонтирована в корпусе от реле ЭН-529 и показала в эксплуатации хорошие результаты. Устройство позволяет задавать номинал контролируемого напряжения в пределах 170—230 вольт, а также верхний и нижний уровень срабатывания схемы в пределах от ± 5 в до $\pm$ 40 в (относительно номинала)

Схемы контроля качества напряжения (рис. 1, 2, 3) могут применяться не только в качестве входных устройств АВР, но и для защиты ответственных нагрузок. Таким образом, в тех случаях, когда необходимо контролировать в сетях качество напряжения в узких пределах, целесообразно применять схему контроля обрыва фаз и полного исчезновения напряжения, а также схему контроля за минимальным и максимальным допустимыми уровнями напряжения в зависимости от требований нагрузки.

Выводы

1. Известные в литературе схемы входных устройств АВР не обеспечивают эффективного использования основного и резервного источника тока вследствие их несовершенства.

2. Все повышающиеся требования к входным устройствам АВР заставляют изыскивать новые принципы их построения.

3. Для сетей постоянного тока схема контроля напряжения, построенная с использованием свойств измерительного моста, позволяет эффективно контролировать границы зоны использования основного источника, а также позволяет обеспечить защиту нагрузки от недопустимых отклонений напряжения от номинала.

4. Для обеспечения полного контроля за номиналом напряжения в сетях переменного тока необходимо применять, схемы обрыва фаз (рис. 1 или 2) и контроля уровня напряжения (рис. 3) совместно.

Литература:

1. **Карандеев К. Б.** — «Мостовые методы измерений», Гостехиздат, УССР, 1953 г.

2. **Власов В. Ф.** — «Электронные и ионные приборы». Связьиздат, 1960 г.

3. Электромагнитные реле, каталог ЦБНТИ МРТП, 1957 г.

4. Справочник по элементам автоматики и телемеханики. Реле, искатели, программные устройства, под редакцией Сотскова Б. С., Госэнергоиздат, 1960 г.

В. А. ГУБИЧЕВ
канд. физико-математ. наук.

К ВОПРОСУ О ПРИРОДЕ ШАРОВОЙ МОЛНИИ

В науке до сих пор нет сколько-нибудь обоснованного представления о природе шаровой молнии.

К твердо установленным фактам шаровой молнии можно отнести следующее: она обыкновенно появляется после сильного разряда линейной молнии и имеет вид светящегося шара диаметром 10—20 см (диаметр может достигать нескольких метров, упоминается даже значение 35 м). Такой светящийся шар быстро перемещается в воздухе, нередко следуя за воздушными течениями. Иногда шаровая молния движется, избегая твердых предметов, особенно металлических, иногда оседает на поверхности предметов и остается здесь либо неподвижной, как бы кипя и выбрасывая искры, либо медленно катится по этой поверхности, оставляя следы ожогов и плавлений. Существует молния несколько секунд (2—5 сек.), а иногда даже до минуты. Исчезновение молнии происходит либо незаметно со слабым треском, либо с оглушительным взрывом.

Было высказано много гипотетических предположений о природе шаровой молнии. В одних из них считается, что в линейной молнии образуются высшие соединения азота и кислорода — «гремучая материя», которые силами поверхностного натяжения стягиваются в сферу. В других предполагается, что шаровая молния — вихрь сильно ионизированного воздуха, перемещающегося под действием электрических и гидродинамических сил.

Интересное предположение было высказано недавно академиком КАПИЦЕЙ П. Л. (1), по которому шаровая молния представляет собой сильно ионизированное облако — плазму, поглощающее приходящие извне интенсивные короткие радиоволны ($\lambda \approx 4d$, d — диаметр облака). К сожалению, здесь не ясно происхождение мощных высокочастотных источников электромагнитных

волн, действующих стабильно в течение нескольких секунд и до минуты. В природе они не были обнаружены.

Более перспективной кажется мысль о том, что шаровая молния представляет собой вихрь сильно ионизированного воздуха. Здесь пойдет речь об одном из возможных механизмов образования такого вихря. Он еще не обсуждался в литературе и на него следует обратить внимание, так как его проверка приводит к вполне определенному направлению экспериментальных исследований.

По современной теории (2) в процессе разряда линейной молнии несколько раз канал молнии перезаряжается положительным и отрицательным зарядом. При этом большую часть времени канал заполнен положительно заряженными ионами, так как подвижность электронов велика и они быстрее покидают область канала. При прохождении тока по каналу молнии вдоль последнего происходит сильное нагревание воздуха, доходящее до нескольких десятков тысяч градусов, и внутри его возникает повышенное давление. Избыток этого давления уравновешивается, по отношению к наружному давлению, электродинамическими усилиями тока, которые стягивают нить канала. Когда ток прекращается, то эти усилия исчезают и канал разрывается. Этим объясняется гром.

Очевидно, что канал начинает разрываться, еще до полного прекращения тока. При этих условиях ионы, заполняющие канал молнии, будут разлетаться в разные стороны в остаточном магнитном поле, которое будет закручивать траектории движения ионов в спирали, способствуя образованию вихря. При обычных условиях, когда плотность воздуха вдоль всего канала одинакова, это движение ионов не приводит к образованию обособленного вихря, так как движение ионов на соседних участках взаимно компенсируется. Но, если в каком-нибудь месте канала имеется местное значительное уплотнение воздуха, например, вследствие прохождения ударной волны, то в этом месте может образоваться тороидальный вихрь ионов. Он будет заряжен, двигаться будет в воздухе обособленно и может следовать за воздушными струями. Образовавшийся вихрь будет избегать предметов, особенно металлических, если они одноименно заряжены. К разноимен-

но заряженным металлическим предметам такой вихрь может прикрепиться, но не разрядиться сразу, вследствие стабилизации заряда вихревым движением.

На поверхности вихря должны развиваться в больших электрических полях, создаваемых зарядом вихря, процессы лавинного разряда, сопровождающиеся, как известно, шипением и свечением, характерным для шаровой молнии.

Вихревое движение довольно быстро будет ослабляться. Если к моменту значительного ослабления вихревого движения заряд шаровой молнии еще будет велик, шаровая молния может исчезнуть со взрывом, если же заряд тоже существенно уменьшился, то шаровая молния исчезает без шума.

Таким образом, развитая гипотеза качественно объясняет все основные явления, сопровождающие шаровую молнию. С развитой точки зрения легко может быть объяснена и четочная молния: если вдоль канала линейной молнии будет несколько локальных значительных уплотнений воздуха, то появится несколько шаровых молний.

Мысль о том, что шаровая молния представляет собой тороидальный вихрь сильно ионизированного воздуха, развивалась Я. И. Френкелем (3), но предложенный им механизм образования такого вихря представляется малоубедительным.

Предложенную идею можно проверить в высоковольтной лаборатории ,создавая в канале мощного искрового разряда местные уплотнения воздуха генерацией интенсивных ударных волн. Тот факт, что невоспроизводимые шаровые молнии иногда получались самопроизвольно при искровых разрядах, позволяет надеяться на успех этого мероприятия.

Литература:

1. **П. Л. Капица.** О природе шаровой молнии. ДАН СССР, 1955, т. 101, № 2.

2. **П. Н. Тверской.** Атмосферное электричество. Гидрометеоиздат, Л. 1949 г.

3. **Я. И. Френкель.** Теория явлений атмосферного электричества. ГИТТЛ. М. Л. 1949.

Л. В. ХУДОБИН,
доцент, кандидат технич. наук.

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЯ РАЗМЕРНОГО ИЗНОСА ШЛИФОВАЛЬНЫХ КРУГОВ

Для оценки качества абразивных инструментов и производительности процесса шлифования широко используются два показателя:

1. Удельная производительность абразивного инструмента (g), представляющая собой отношение объема удаленного (сошлифованного) за определенный период времени материала к объему израсходованного за то же время абразива.

Иногда вместо отношения объемов определяется отношение соответствующих весов.

$$g = \frac{Q_м}{Q_а} \left[\frac{мм^3}{мм^3} \text{ или } \frac{см^3}{см^3}\right] \quad (1).$$

где $Q_м$ и $Q_а$ — объемы сошлифованного материала детали и израсходованного абразива за время τ.

2. Удельный износ абразивного инструмента (q) — величина, обратная удельной производительности (g):

$$q = \frac{Q_а}{Q_м} \left[\frac{мм^3}{мм^3} \text{ или } \frac{см^3}{см^3}\right] \quad (2).$$

Кроме удельной производительности и удельного износа часто используются такие показатели, как производительность абразивного инструмента (w), именуемая также производительностью обработки (шлифования); объемный износ абразивного инструмента (U); размерный ($\triangle R$) и удельный размерный износ абразивного инструмента ($\triangle R_у$) и др.

Под производительностью инструмента понимается объем материала детали, удаленный в единицу времени:

$$W = \frac{Q_M}{\tau} \ \frac{мм^3}{мин} \text{ или } \frac{см^3}{мин} \text{ или } \frac{см^3}{час} \qquad (3)$$

Объемный износ абразивного инструмента:

$$U = \frac{Q_a}{\tau} \ \frac{мм^3}{сек} \text{ или } \frac{мм^3}{мин} \text{ или } \frac{см^3}{час} \qquad (4)$$

Размерный износ абразивного инструмента ($\triangle R$) подсчитывается как изменение рабочего размера этого инструмента. Для круглого шлифования таким размером будет радиус (диаметр) круга:

$$\triangle R = R_1 - R_2 \text{ (мм или см)} \qquad (5)$$

Удельный размерный инзос, т. е. изменение рабочего размера в единицу времени, определяется по формуле:

$$\triangle R_y = \frac{\triangle R}{\tau} = \frac{R_1 - R_2}{\tau} \ \frac{мм}{мин} \text{ или } \frac{мм}{сек} \text{ или } \frac{см}{мин} \qquad (6)$$

Формуры (1, 2, 3, 4) могут быть представлены в следующем виде:

$$g = \frac{(r_1 + r_2)Z \cdot l_ш}{(R_1 + R_2) \triangle R \cdot H_и} \quad (1') \qquad q = \frac{(R_1 + R_2) \cdot \triangle R \cdot H_и}{(r_1 + r_2) \cdot Z \cdot l_ш} \quad (2')$$

$$W = \frac{\pi (r_1 + r_2) \cdot Z \cdot l_ш}{\tau} \quad (3') \qquad U = \frac{\pi (R_1 + R_2) \cdot \triangle R \cdot H_и}{\tau} \quad (4')$$

В этих формулах:

r_1 и R_1 — соответственно радиусы обрабатываемой детали и круга до шлифования, мм;

r_2 и R_2 — то же после шлифования мм;

$L_ш$ — длина шлифованной цилиндрической поверхности, мм;

$H_и$ — длина изношенного участка круга, мм;

Z — сошлифованный с детали припуск на радиус, мм.

Во многих случаях R_1 мало отличается от R_2 ввиду малости размерного износа ΔR, а снимаемый при шлифовании припуск Z также невелик по сравнению с радиусом детали. Тогда, принимая $R_1=R_2=R$ и $r_1=r_2=r$, получим с небольшой погрешностью формулы (1″; 2″; 3″; 4″).

$$g=\frac{r\cdot Z\cdot \ell_ш}{R\cdot\Delta R\cdot H_и} \quad (1'') \qquad q=\frac{R\cdot\Delta R\cdot H_и}{r\cdot Z\cdot \ell_ш} \quad (2'')$$

$$W=\frac{2\pi\cdot r\cdot Z\cdot \ell_ш}{\tau} \quad (3'') \qquad U=\frac{2\pi\cdot R\cdot\Delta R\cdot H_и}{\tau} \quad (4'')$$

Очевидно, что точность определения всех четырех показателей процесса шлифования зависит в основном от точности определения величины Z (W) или ΔR (U), или обеих этих величин одновременно (g и q). В свою очередь, точность определения Z и ΔR зависит от точности измерения размеров детали и круга до и после шлифования.

Размеры детали измеряются универсальными измерительными инструментами или на приборах. При этом наибольшая погрешность измерения величины Z равняется удвоенной погрешности измерения радиуса детали. В результате, при снимаемых в практике шлифования припусках, относительная погрешность определения объема сошлифовального материала $Q_м$ (см. формулы 1, 2, 3) не превышает 5—10% при использовании измерительных инструментов нормальной точности и может быть доведена до 2—3% путем измерения размеров детали с помощью миниметров и других точных измерительных приборов. Величина $Q_м$ может быть также определена путем взвешивания детали до и после обработки и вычисления веса сошлифованного материала. Чтобы погрешность определения $Q_м$ не превышала 2—3%, необходимо взвешивать деталь с точностью 0,01—0,10 г, причем, чем меньше $Q_м$, тем выше должна быть точность определения веса. В производственных условиях, как правило, величину $Q_м$ проще определить по за-

мерам размеров детали. Точность же определения этого параметра в обоих случаях вполне достаточна.

Значительно сложнее задача достаточно точного определения размерного износа шлифовальных кругов $\triangle R$, а, следовательно, и параметров g, q, u. Причина заключается в малой величине размерного износа за период стойкости шлифовальных кругов — 0,05—0,02 мм и менее. Учитывая, что измерения производятся непосредственно на станках, обычно применяются специальные методы измерения размерного износа шлифовальных кругов. При этом в каждом случае используется различная методика измерений, а сведения о точности последних обычно отсутствуют.

Ниже приводится анализ различных методов измерения размерного износа шлифовальных кругов и даются рекомендации по применению этих методов.

I метод — измерение диаметра шлифовального круга универсальным инструментом — микрометром или штангенциркулем. Чтобы не повредить инструмент, измерения производятся через калиброванные прокладки из фольги или бумаги. Погрешность определения размерного износа $\triangle R$ в этом случае

$$\omega_{\Delta R_I} = 2\omega_R \qquad (5)$$

Соответствующая относительная погрешность

$$\omega'_{\Delta R_I} = \frac{2\,\omega_R \cdot 100\%}{\Delta R}, \qquad (5')$$

где ω_R — погрешность измерения радиуса круга.

Погрешность определения объема израсходованного абразива ω_{Qa} может быть рассчитана следующим образом:

$$\omega_{Qa_I} = 2\pi R\left(\Delta R \cdot \omega_{H.u.} + 2H_{u.} + \omega_R\right), \qquad (6)$$

где ω_{Hu} погрешность измерения длины изношенного участка круга. Относительная погрешность определения объема израсходованного абразива:

$$\omega'_{Qa_I} = \left(\frac{\omega_{Hu}}{Hu} + \frac{\omega_{\Delta R_I}}{\Delta R}\right) \cdot 100 \qquad (6')$$

Поскольку, как уже указывалось, размерный износ кругов за время стойкости круга обычно весьма мал, постольку второе слагаемое в формуле (6[1]) значительно больше первого и это последнее практически можно не учитывать.

Следует отметить, что относительная погрешность определения объема сошлифованного металла ω_{Q_M} рассчитывается по формуле, аналогичной формуле (6):

$$\omega'_{Q_M} = \left(\frac{\omega l_ш}{l_ш} + \frac{2\omega_z}{z} \right) \cdot 100 \qquad (7)$$

где $\omega_{l_ш}$ и ω_z — соответственно погрешности измерения длины шлифованной поверхности и радиуса детали.

Очевидно, что $\omega'_{Q_M} \ll \omega'_{Q_a}$, так как $z \gg \Delta R$.

Измерение размеров круга на кругло-шлифовальном станке практически возможно лишь штангенциркулем. Если применить штангенциркуль с отсчетом по нониусу 0,05 мм, то например, при $R_1=200$ мм, $R_2=199,96$ погрешность $\omega_R=0,055$ и, согласно формулы (5[1]), относительная погрешность измерения размерного износа составит $\omega'_{\Delta R}=275\%$. Даже если применить штангенциркуль с отсчетом по нониусу 0,02 мм, $\omega'_{\Delta R}$ будет равняться 175%. С уменьшением размерного износа против принятого в примере (0,04) погрешность $\omega'_{\Delta R}$ будет возрастать.

В связи со всем вышеизложенным определение размерного износа (ΔR), удельной производительности (g) и других показателей, характеризующих качество абразивных инструментов и производительность процесса шлифования, по результатам измерения диаметра круга до и после шлифования, применимо лишь на внутришлифовальных станках, когда круг легко доступен для измерений, диаметр круга сравнительно невелик, а размерный износ за период стойкости круга соизмерим с припуском, снимаемым с детали.

Непосредственное измерение диаметра шлифовального круга вполне приемлемо также, если удельная производительность определяется за длительный период времени (смена, сутки и более). Очевидно, что в связи с увеличением в этом случае размерного износа ΔR погрешность $\omega'_{\Delta R}$ пропорционально уменьшится.

II метод — измерение расстояния от базы до поверхности шлифовального круга до и после шлифования (рис. 1).

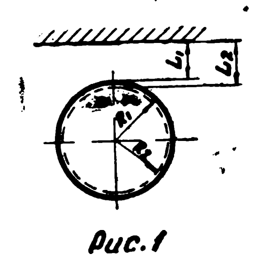


Рис. 1

А-А — измерительная база; L_1; L_2 — расстояние от базы до круга до и после шлифования.

В качестве измерительной базы используются специально подготовленные точные поверхности на кожухе шлифовального круга или приспособлениях. Для измерений применяются индикаторные и микрометрические нутромеры и глубиномеры, а чаще всего индикаторы, монтируемые на кожухе круга. Наконечник измерительного стержня следует выполнить плоским.

Преимущество описываемого метода измерения размерного износа кругов перед предыдущим заключается в большей универсальности, так как метод применим для кругов любых размеров и для различных видов шлифования — круглого наружного, внутреннего и бесцентрового. Однако времени на измерения затрачивается больше.

Поскольку $\triangle R = L_2 - L_1$, постольку

$$\omega_{\Delta R_{II}} = 2\omega_L , \quad (8)$$

где ω_L — погрешность измерения расстояния L. Относительная погрешность измерения $\triangle R$:

$$\omega'_{\Delta R_{II}} = \frac{2\omega_L}{\Delta R} \quad (8')$$

Величина ω_L зависит не только от погрешности измерительных средств, но и от изменений положения измерительной базы и непостоянства положения шпинделя станка в подшипниках. Первая из них, в свою оче-

редь, определяется многочисленными факторами, например: жесткостью кожуха и способом его крепления на корпусе шлифовальной бабки; температурными деформациями, вызывающими относительные перемещения измерительной базы и шпинделя; вибрациями, возникающими при работе станка. Положение шпинделя определяется конструкцией шпиндельной группы, величиной зазоров во вкладышах подшипников шпинделя, температурными деформациями последнего, условиями смазки и т. д.

Для получения сравнимых результатов (как и при измерениях по I методу) необходимо производить измерения в одном и том же осевом сечении круга. Для этого на круге, а лучше на шкиве привода шпинделя делают необходимое число меток (рисок), по которым и устанавливают круг при повторных измерениях. Особенно точно эта установка может быть выполнена, если совмещение рисок контролируется оптическими устройствами.

Погрешность измерения может быть уменьшена применением бесконтактных способов измерения расстояний L_1 и L_2, как это сделано, например, в оптическом приборе конструкции ЭНИИПП. Однако, влияние непостоянства положения шпинделя и в этом случае не уменьшается.

Резкое уменьшение ω_2 обеспечивается, если в качестве измерительной базы использовать шейку шпинделя [1]. (рис. 2). При этом обеспечивается постоянство измерительной базы и исключается влияние положения шпинделя на точность измерений.

Преимущество II метода перед I заключается в независимости точности измерений от размеров круга и, следовательно, возможности применения его для измерения размерного износа на кругло- и бесцентровошлифовальных станках, работающих кругами больших диаметров. Применение же II метода на внутришлифоваль-

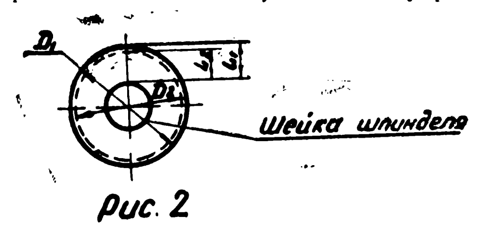


Рис. 2

ных станках, где круг легко доступен непосредственным измерениям микрометром (по I методу), нецелесообразно: точность измерений $\triangle R$ в последнем случае будет выше.

Большая погрешность ω_{L}, присущая измерениям по схеме рис. 2, привела к вытеснению их измерениями по III методу.

III метод — измерение уступа или канавки на шлифовальном круге (рис. 3).

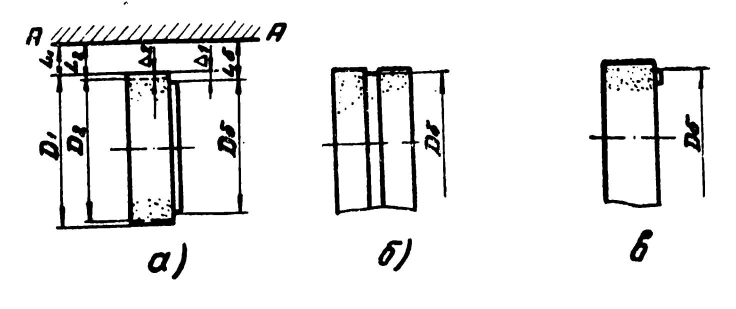


Рис. 3

A-A — измерительная база; Dб — диаметр цилиндрической поверхности, используемой в качестве измерительной базы; D_1 и D_2 — диаметры круга до и после шлифования.

В качестве измерительной базы используется специально создаваемая с помощью правящего инструмента цилиндрическая поверхность диаметром Dб, которая может быть оформлена в виде уступа, канавки или приклеенного к торцу круга небольшого керамического блока.

$\triangle_1 = R_1 - R_б$ — уступ на круге до шлифования;

$\triangle_2 = R_1 - R_б$ — уступ на круге после шлифования.

Тогда $\triangle R = \triangle_1 - \triangle_2 = R_1 - R_2$

и

$$\omega_{\triangle R_{III}} = 2\,\omega_{\triangle} \quad (9)$$

или

$$\omega_{\triangle R_{III}} = 2\,\omega_{R}$$

Относительная погрешность измерения размерного износа:

$$\omega'_{\Delta R_{III}} = \frac{2\omega_\Delta}{\Delta R}, \qquad (9')$$

где ω_Δ – погрешность измерения уступа на шлифовальном круге. Измерение величины Δ может быть выполнено теми же приборами, что и измерение расстояния L по методу II. Индикаторы обычно устанавливают на каретке, чтобы перемещать их вдоль оси круга для измерения Δ_1 и Δ_2 (рис. 3). Возможно применение и поворотных приспособлений, устанавливаемых обычно, как и салазки для перемещения каретки, на кожухе шлифовального круга. В последнее время для измерения Δ с успехом используются ощупывающие приборы типа профилографа [2]. В этом случае записывающий прибор (осциллограф) дает диаграммы, по которым легко определяются величины Δ_1 и Δ_2.

При измерениях размерного износа ΔR по III методу погрешность $\omega\Delta$ значительно меньше, чем ω_L в формуле (8), так как на величине $\omega\Delta$ не сказываются непостоянство положений измерительной базы и шпинделя станка. Однако, $\omega\Delta$ включает погрешность, вносимую изменением положения измерительного прибора (индикатора) при перемещении его из положения измерения L_5 в положение измерения L_1 или L_2. Тем не менее $\omega_{\Delta R_{III}}$ намного меньше $\omega_{\Delta R_{II}}$ и также не зависит от диаметра круга.

Благодаря этим преимуществам измерение размерного износа по описываемому методу обеспечивает значительно более высокую точность, чем по методам II и I (в последнем случае, исключая круги малых диаметров с большим размерным износом). Например, примем: D=400 мм; Δ_1=0,06 мм; Δ_2=0,02 мм (как и ранее на стр. 61). L=20 мм, измерение величины Δ производится индикатором с ценой деления 0,002 мм.

Учитывая погрешность, вносимую при перемещениях индикатора (см. выше), примем предельную погрешность метода измерения $\omega\Delta$=0,005. Тогда относительная погрешность измерения размерного износа составит $\omega_{\Delta R_{III}}$=25%, что во много раз меньше соответствующей погрешности по методу I (см. стр. 61).

В качестве недостатков III метода следует указать на

невозможность использования всей высоты круга, если на круге сделан уступ или канавка (рис. 3), и на большую трудоемкость измерений, по сравнению с методами I и II.

IV метод — измерение размерного износа по лимбу поперечной подачи (рис. 4).

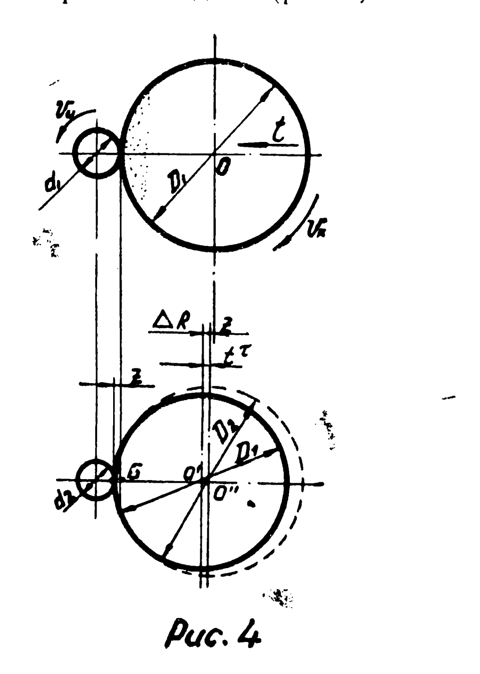


Рис. 4

D_1 и D_2 — диаметры круга до и после шлифования; d_1 и d_2 — диаметры детали до и после шлифования.

Сущность метода заключается в следующем: на станке устанавливается подлежащее обработке изделие; измеряется диаметр детали d_1 (если опыты проводятся для определения не только ΔR, но еще и g, q, u, необходимо измерить по методу I диаметр круга D_1; точность измерений при этом практически не сказывается на точности определения g, q, или u, ввиду малости погрешности измерения радиуса по сравнению с его величиной, используемой для подсчета объема израсходованного абразива Q_a); круг приводится в контакт с деталью, причем момент касания определяется по искре; замечается соответ-

ствующее моменту касания положение лимба механизма поперечной подачи; осуществляется шлифование, после окончания которого производится выхаживание и фиксируется новое положение лимба; по лимбу определяется поперечная подача круга за время шлифования; вновь измеряется диаметр детали d_2; определяется также время шлифования τ.

Подача t_τ или перемещение шпинделя круга в направлении подачи, слагается из двух величин:

$$t_\tau = AБ + O'O'',$$

где

$AБ = Z = \frac{d_1 - d_2}{2}$ — припуск, снятый с детали за время шлифования;

$O'O'' = \Delta R = \frac{D_1 - D_2}{2}$ — размерный износ круга.

Тогда $\Delta R = t_\tau - Z$; (10)

следовательно,

$$\omega_{\Delta R_{i\bar{v}}} = \omega_{t_\tau} + \omega_Z, \quad (11)$$

где ω_{t_τ} — погрешность определения подачи шлифовальной бабки за время τ;

ω_Z — погрешность определения сошлифованного припуска Z. Поскольку $Z = r_1 - r_2$, постольку

$$\omega_Z = 2\omega_r, \quad (12)$$

где ω_r — погрешность измерения радиуса детали.

Погрешность ω_{t_τ} зависит от следующих основных факторов:

1. Точности определения момента касания круга с деталью ω_K;

2. Точности отсчета по лимбу ω_0;

3. Температурных деформаций в механизме подачи за время шлифования ω_m;

4. Точности механизма подачи станка ω_H.

Погрешность, порождаемая первым из этих факторов,

зависит от точности станка, опыта и квалификации исследователя. Погрешности ω_o, ω_m и ω_n определяются в основном конструкцией, состоянием станка и условиями работы, причем влияние температурных деформаций может быть значительным при большой длительности шлифования.

Таким образом,

$$\omega t_T = \omega_k + \omega_o + \omega_m + \omega_n ; \quad (13)$$

тогда

$$\omega_{\Delta R_{IV}} = 2\omega_z + (\omega_k + \omega_o + \omega_m + \omega_n) \quad (13)$$

Ввиду большого количества факторов, влияющих на величину $\omega_{\Delta R_{IV}}$, точность определения размерного износа ΔR по IV-му методу ниже, чем по II-му и III-му. Несомненным преимуществом IV-го метода является его простота, обусловленная отсутствием каких-либо приспособлений для измерения диаметра круга.

Однако недостаточная точность измерений (что подтверждается нижеописанными сравнительными экспериментами) не позволяет рекомендовать этот метод измерения размерного износа к использованию.

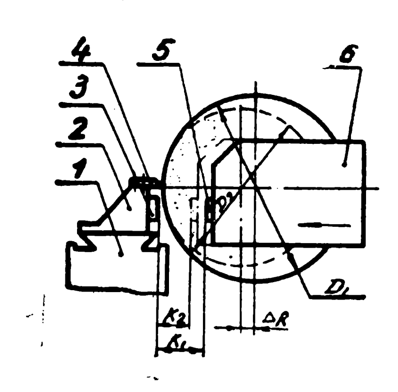


Рис. 5

1 — стол станка; 2 — корпус приспособления; 3, 5 — пластинки; 4 — неподвижный упор; 6 — шлифовальная бабка.

V метод — измерение размерного износа круга путем подвода его к неподвижному упору (рис. 5).

Сущность метода: шлифовальный круг до начала шлифования подводится вперед до касания с неподвижным упором 4, момент касания определяется по искре; микрометрическим или индикаторным нутромером, набором концевых мер или набором концевых мер в сочетании со шупом измеряется расстояние K_1 между двумя доведенными, закаленными плитками 3 и 5, закрепленными на корпусе приспособления и на корпусе шлифовальной бабки (плитка 3 может быть закреплена и на корпусе задней бабки); после определенного периода шлифования, когда диаметр круга уменьшится с $Д_1$ до $Д_2$, цикл измерения вновь повторяется, в результате чего определяется расстояние K_2.

Размерный износ $\Delta R = K_1 - K_2$

Тогда, поскольку $\omega_{K_1} = \omega_{K_2}$, (15)

получим $$\omega_{\Delta R_V} = 2\,\omega_K \quad (16)$$

Погрешность ω_K складывается из погрешности использованного измерительного средства $\omega_K^{и.с.}$, точности определения момента касания круга с упором 4 ($\omega_K^{к}$); изменения относительного положения пластин 3 и 5 в результате температурных деформаций в системе СПИД ($\omega_K^{т}$). Зазоры в подшипниках шпинделя не оказывают влияния на точность определения K_1 и K_2, так как эти расстояния устанавливаются при вращающемся круге.

Изменение величины К из-за температурных деформаций за время опыта невелико и его можно не учитывать. Тогда

$$\omega_K = \omega_K^{и.с.} + \omega_K^{к} \quad (17)$$

Для определения величины $\omega_K^{к}$ были проведены специальные эксперименты на кругло-шлифовальном станке мод. 3110М. Шлифовальная бабка подавалась вперед до момента касания круга с неподвижным упором, закрепленным на задней бабке. По индикатору с ценой деления 0,002 мм определялось положение бабки при ее многократных подводах, $\omega_K^{к}$ определялась как поле

рассеивания показаний индикатора. Установлено, что ω_k^k лежит в пределах погрешности индикатора (0,003 мм).

На станках, где шлифовальная бабка перемещается по направляющим скольжения (на станке 3110М—направляющие качения), ω_k^k будет, очевидно, больше. Однако, и в этом случае $\omega_k^{u.c.} > \omega_k^k$.

При использовании индикаторных или микрометрических нутрометров погрешность $\omega_{\Delta R_v}$ составит 0,02—0,04мм и более. Если измерение расстояний K_1 и K_2 (рис. 5) производится с помощью набора концевых мер, величина $\omega_{\Delta R_v}$ может быть получена порядка 0,01 мм, но трудоемкость измерений при этом увеличивается.

Значительно проще сравнительно высокая точность обеспечивается, если вместо пластины 3 (рис. 5) используется индикатор или миниметр, закрепленный на корпусе приспособления 2. Благодаря уменьшению $\omega_k^{u.c}$ до 0,001—0,003 мм, учитывая ω_k^k=0.002—0,003 мм (для станков с направляющими качения), предельная величина погрешности измерения размерного износа $\omega_{\Delta R_v}$ может быть обеспечена в пределах 0,005—0,006 мм.

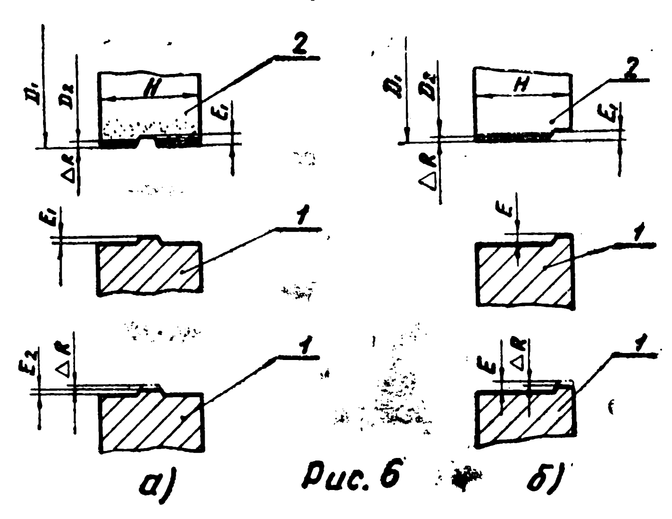


Рис. 6

1 — пластинка стальная; 2 — шлифовальный круг.

V метод измерения размерного износа, очевидно, точнее всех ранее рассмотренных. Однако, метод сравнительно трудоемок, необходимо применять специальные приспособления.

Метод применим на кругло- внутри- и бесцентрово-шлифовальных станках.

VI метод — измерение размерного износа круга путем копирования его профиля на тонкой пластинке (рис. 6).

На периферии заправленного круга протачивается канавка или уступ, величина (глубина) которого должна быть на 0,01—0,02 мм больше ожидаемого размерного износа $\triangle R$. Ширина канавки и уступа в пределах 1—3 мм. Круг подводится к тонкой стальной пластине, закрепленной в приспособлении, установленном на столе станка или на задней бабке. Медленно подавая круг на пластинку, копируют на ней профиль круга.

Уступ E_1 на пластине измеряется на приборе. После определенного периода шлифования, когда круг износится на величину $\triangle R$, его профиль вновь копируется на пластине, а уступ E_2 на последней замеряется.

$$\triangle R = E_1 - E_2; \quad (18)$$

$$\omega_{\Delta R} = \omega_{E_1} + \omega_{E_2} \quad (19)$$

или, поскольку $\omega E_1 = \omega E_2$

$$\omega_{\Delta R_{VI}} = 2\omega_E .$$

где ω_E — погрешность, измерения уступа E.

На величину ω_E влияют, в основном, два фактора:

1. Точность измерения уступа E на пластине.

2. Возможные изменения режущей поверхности профиля круга при шлифовании пластины. Это обстоятельство снижает точность метода при кругах небольших диаметров, подверженных сильному износу. Поэтому применять VI метод измерения размерного износа на внутришлифовальных станках не рекомендуется. Областью его применения следует считать круглошлифовальные станки, когда изменениями профиля круга во время шлифования пластины можно пренебречь.

Погрешность измерения уступа E с помощью миниметров или индикаторов может быть обеспечена в пределах 0,001—0,003 мм. Удобно измерять величину E на

проекторе или с помощью профилометра, при этом, применяя большие увеличения, можно достигнуть

$$\omega_{\varepsilon} = 0{,}002 - 0{,}003 \text{ мм}$$

Следовательно, $\omega_{\Delta R_{VI}} = 0{,}004 - 0{,}006$ мм

Таким образом, VI метод обеспечивает наивысшую точность измерения размерного износа и, соответственно, наименьшую погрешность определения объема израсходованного абразива $\omega'_{Q_{a\,VI}}$, которая, как правило, не превышает 10%.

Недостатками метода следует считать: во-первых, невозможность использования всей ширины круга из-за наличия канавки или уступа и, во-вторых, сравнительно большую трудоемкость опытов, так как измерения уступа на пластине выполняются обычно вне станка.

В целях проверки выводов вышеприведенного анализа различных методов измерения размерного износа шлифовальных кругов в лаборатории «Резания металлов» Ульяновского политехнического института проведено соответствующее экспериментальное исследование.

Опыты выполнялись на новом кругло-шлифовальном станке модели 3110М: РМЦ=200 мм; высота центров над столом 80 мм; наибольший диаметр шлифовального круга 250 мм.

Измерение размерного износа ΔR производилось всеми вышеперечисленными методами, кроме II-го ввиду

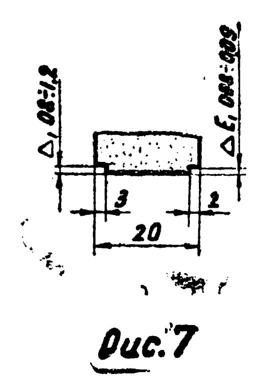


Рис. 7

Профиль рабочей поверхности шлифовального круга.

его сходства с III и очевидных преимуществ последнего.

Шлифовались методом врезания шейки шириной 13 мм на заготовках диаметром 33 мм и длиной 170 мм из ст. 45.

Условия шлифования: шлифовальный круг ПП—250×20×75 характеристики Э40СТ1К; охлаждение 5% содовым раствором; $n_к$=2850 об/мин; $n_и$=300 об/мин; t = 1 мм/мин; правка алмазно-металлическим карандашом СМ-I в 5 проходов — 2 черновых (поперечная подача 0,025 мм/ход), 2 чистовых (0,01 мм/ход) и 1 без подачи, — с продольной подачей 0,25 м/мин.

Для непосредственного измерения диаметра круга (I метод) использовался штангенциркуль с отсчетом по нониусу 0,05 мм.

Для определения ΔR по III методу на круге протачивался уступ глубиной Δ_1=0,8—1,2 мм и шириной 3 мм (рис. 7). Приспособление для измерения уступа закреплялось на кожухе круга и представляло собой салазки, по которым при вращении винта вдоль оси круга перемещалась каретка с закрепленным на ней индикатором с ценой деления 0,002 мм. Положение каретки определялось по шкале на неподвижных салазках.

Измерение диаметра заготовки до (d_1) и после шлифования (d_2) (IV метод) производилось микрометром нормальной точности в определенном поперечном сечении. За величину диаметра принималось среднеарифметическое из результатов измерения диаметра в трех осевых сечениях, расположенных под 120°. Цена деления лимба, по которому определялась поперечная подача за время шлифования t_τ (рис. 4), — **0,0025 мм.**

Для измерений по V методу на корпусе задней бабки и на корпусе шлифовальной бабки закреплялись две стальные, каленые, тщательно доведенные по плоскости пластинки размером 40×50 мм. Расстояние между ними К было порядка 45—55 мм и измерялось набором концевых мер и щупом (рис. 5). В качестве неподвижного упора использовалась пластинка из ст. 45 (HRC=45—50) размером 20×20×1,5 мм, на которой копировался профиль круга для измерения ΔR по VI методу (рис. 6). Пластинка закреплялась в приспособлении, установленном на корпусе задней бабки. На круге протачивался уступ E_1=0,08—0,09 мм шириной 2 мм (рис. 7). Измерение скопированного на пластинке профиля круга (высоты

уступа E_1 и E_2) производилось на часовом проекторе при увеличении 100X.

Было проведено 25 опытов продолжительностью 24 минуты шлифования каждый. Измерение $\triangle R$ производилось через каждые 4 минуты. В 5 опытах $\triangle R$ измерялся после 20 минут шлифования.

В результате первых же экспериментов установлено, что $\triangle R$ после 4 мин. шлифования составляет величину порядка 0,01 мм. Поэтому определение $\triangle R$ путем измерения диаметра круга штангенциркулем до и после шлифования (I метод), как и определение $\triangle R$ по лимбу поперечной подачи (IV метод), неприемлемо: ошибка измерения в несколько раз больше измеряемой величины. На рис. 8 для примера показаны графики размерного износа, из которых легко видеть насколько отличаются ве-

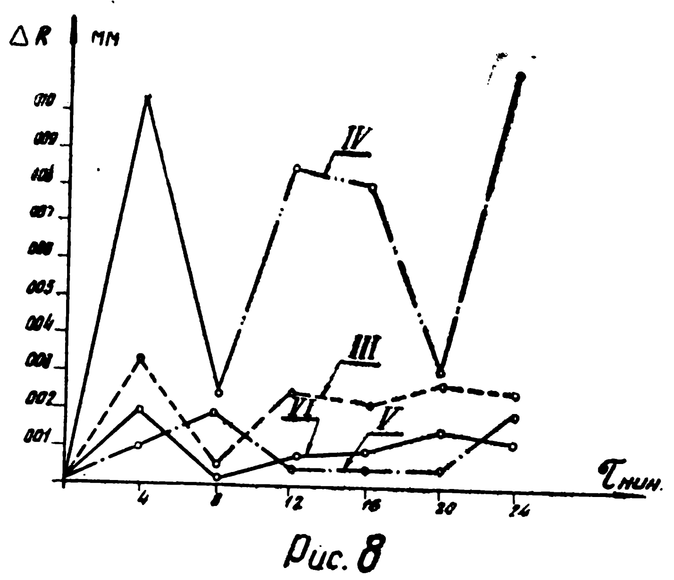


Рис. 8

Графики размерного износа.

личины $\triangle R$, полученные по IV методу от соответствующих величин, полученных другими методами.

В связи с этим в основной части опытов измерение $\triangle R$ производилось лишь по III, V и VI методам.

На рис. 9 приведены графики размерного износа по осредненным данным 20 опытов. Кривые III и VI имеют одинаковый характер, но первая из них лежит несколько

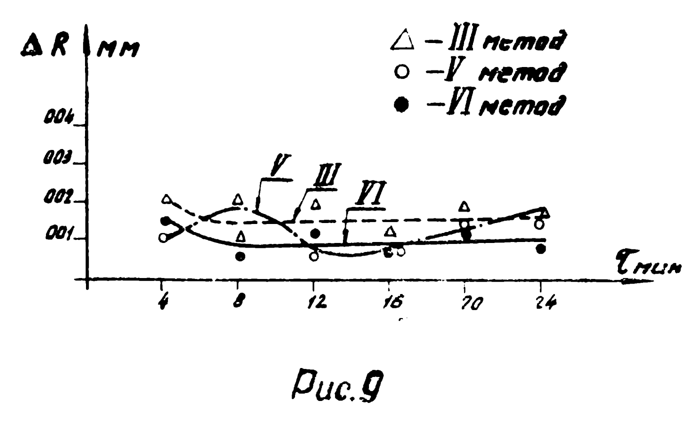


Рис. 9

Графики размерного износа (по средним данным).

выше. Причина заключается в большей погрешности измерения $\triangle R$ по III методу. Однако, так как $\omega_{\Delta R_{III}}$ в

Рис. 10

Графики зависимости размерного износа $\triangle R$ от времени шлифования τ (по средним данным).

значительной мере зависит от измерительного приспособления, то $\omega_{\Delta R_{и}}$ можно уменьшить путем усовершенствования конструкции и повышения качества изготовления приспособления.

Кривая V имеет несколько иной характер, чем кривая VI, но эти кривые расположены примерно на одном уровне: точность измерений по V методу немногим ниже, чем по VI (это согласуется с данными других исследований [3]).

На рис. 10 показаны кривые зависимости ΔR от времени шлифования τ (по данным рис. 9). Все три кривые имеют одинаковый характер, но, ввиду различной точности измерений, угол наклона их к оси абсцисс различен.

Выводы

1. Наиболее высокая точность измерения размерного износа шлифовальных кругов ΔR обеспечивается методом копирования профиля круга на тонкой стальной пластинке (VI метод).

Метод следует применять главным образом для измерения малых величин ΔR — порядка 0,03—0,01 мм и менее.

2. Несколько меньше точность измерения ΔR путем подвода круга к неподвижному упору (V метод). Ввиду меньшей трудоемкости V метода, учитывая к тому же его универсальность, ему в большинстве случаев следует отдать предпочтение.

3. Во многих случаях достаточно высокую точность обеспечивает и III метод измерения ΔR — измерение уступа или канавки на круге.

4. При сравнительно больших величинах ΔR — порядка десятых долей мм и более — можно применять I метод, т. е. определение ΔR по результатам измерения диаметра круга универсальным инструментом.

Литература:

1. **Бессер М. Р.**, «Измерительная техника» № 1, 1960.

2. Backer W. R. and E. J. Krabacher, «Transactions of the ASME» № 7, 1956.

3. Palitzsch G. und Ernst H. O., «Indusrie — Anzelger Essen» № 80, 1957.

КАРАВАЕВ М. В.
кандидат технических наук, доцент.

ВЛИЯНИЕ ЗАЗОРОВ КЛАПАНОВ НА РАБОТУ ДВИГАТЕЛЕЙ

Известно, что автотракторные двигатели с клапанным газораспределением имеют тепловой зазор клапанов. Этот зазор варьирует в пределах 0,20—0,40 мм. Известно также, что в процессе работы двигателя зазоры клапанов нарушаются. В связи с этим нас заинтересовали такие вопросы:

1) в каких пределах находятся фактические зазоры клапанов работающих автотракторных двигателей и

2) как влияют различные зазоры клапанов на работу двигателя — на мощность и расход горючего, на характер протекания рабочего процесса. С этой целью нами были проверены фактические зазоры клапанов у семи тракторных двигателей Д-54 и Д-35. При проверке оказалось, что зазоры клапанов находятся в пределах, приведенных в таблице 1.

Таблица 1.

Зазоры в мм	до 0,20	0,21—0,30	031—0,40	041—0,60	061—0,80	0,81—1,00	1,01—2,00
Количество в %%	20,7	14,4	21,6	19,6	14,4	3,6	6,7

Зная, что нормальные зазоры клапанов двигателей Д=54 и Д—35 лежат в пределах: для всасывающих — 0,25 мм и для выхлопных — 0,30 мм, и сравнивая эти зазоры с фактическими видим, что фактические зазоры значительно отклоняются от нормальных, что с нормальными зазорами оказалось всего лишь 14,4% проверенных клапанов. Кроме того, из приведенных данных видно, что количественное распределение фактических зазоров клапанов следует закону кривой нормального распределения, максимум которой (21,6%) соответствует зазорам 0,31—0,40 мм.

Имея данные о фактических зазорах клапанов и видя, что они далеко отклоняются (до 2,00 мм) от нормальных

зазоров, нами были проведены испытания двигателя Д=54 с целью выявления влияния зазоров клапанов на работу двигателя.

Испытания проводились на электрической тормозной установке СТ-28 ГОСНИТИ. При этом двигатель Д=54 до испытаний был надлежащим образом отрегулирован (в особенности система питания — насос и форсунки).

Скоростной режим двигателя при испытаниях был нормальным, т. е. n=1300 об/м. Тепловой режим дизеля при испытании поддерживался на уровне 90°С. Повторность опытов 3-х кратная. В результате проведенных испытаний были получены следующие данные:

Таблица 2.

Зазоры в мм.	Вс 0,25	Вх 0,30	Вс 0,60	Вх 0,65	ВС 1,00	Вх 1,05	Вс 2,00	Вх 2,05	Вс 3,00	Вх 3,05
Мощность в л. с.	54,3		54,2		52,9		52,0		50,0	
Расход топлива в г/элсч	226		231		235		239		248	

Как видно из приведенных в таблице 2 данных, влияние зазоров клапанов сказывается на мощности двигателя и удельном расходе топлива — с увеличением зазоров мощность снижается, а удельный расход топлива увеличивается.

Однако, значительным изменениям мощности и расхода топлива соответствуют очень большие (2—3 мм.) зазоры клапанов. Зазоры же клапанов с 2-х и даже с 3-х кратным увеличением против нормы (до 1 мм) соответствуют незначительным изменениям мощности и расхода горючего.

Рабочий процесс двигателя, с точки зрения теплового напряжения, стуков в двигателе и дымности выхлопа протекал нормально, т. е. не наблюдалось перегрева, стуков и дымного выхлопа. Стуки коромысел клапанов о клапаны с увеличением зазоров, конечно, значительно усиливались.

Казалось бы с увеличением зазоров клапанов в 2--3 раза против нормы сильно уменьшится «время—сечение» и тем самым уменьшится наполнение цилиндра воздухом, а следовательно, существенно снизится мощность двигателя. Но опыты этого не подтвердили. Очевидно, большое увеличение зазоров клапанов (в 3—5 и даже больше раз против нормы) хотя и уменьшило «время-сечения», но этим изменило в конечном итоге лишь несколько коэффициент избытка воздуха, который у дизелей

всегда больше единицы и варьирует в широких пределах $\alpha=1,1-1,5$).

Утвердившись в мнении, что изменение зазоров клапанов в дизеле влечет за собой лишь незначительное изменение коэффициента избытка воздуха и поэтому не вызывает существенного изменения работы дизеля, мы решили провести испытания карбюраторного двигателя, полагая, что здесь увеличение зазоров клапанов уменьшит «время-сечение», уменьшит наполнение цилиндра двигателя горючей смесью (а не воздухом как у дизеля) и в конце концов резко отразится на снижение мощности и увеличении удельного расхода топлива двигателя.

Предварительно нами были проверены фактические зазоры клапанов 45 двигателей автомобилей ГАЗ-51 и ЗИЛ-150. При этом оказалось, что фактические зазоры клапанов варьируют от 0,01 до 3,80 мм и распределяются так, как показано в таблице 3.

Таблица № 3

Зазоры	0,01—0,1	0,11—0,2	0,21—0,3	0,31—0,4	0,41—0,5	0,51—0,6	0,61—0,7	0,71—0,8	0,81—3,80
К-во в %	5,5	20,6	25,8	21,6	12,5	6,3	2,4	3,8	1,4

Из приведенных в таблице 3 данных видно, что количественное распределение фактических зазоров клапанов следует, как и у дизеля, закону кривой нормального распределения, максимум которой (25,8%) соответствует нормальным зазорам, т. е. 0,21—0,30 мм. Остальные же почти 75 % клапанов имеют ненормальные зазоры. С целью выявления влияния зазоров клапанов на работу карбюраторного двигателя нами были проведены испытания двигателя ГАЗ-МК. Испытания проводились на гидравлической тормозной установке Т-4. В результате испытаний были получены следующие данные, приведенные в таблице 4.

Таблица 4.

Зазоры	Вс	Вх	Вс	Вх	Вс	Вх	Вс	Вх	Вс	Вх
в мм	0,10	0,10	0,30	0,40	0,60	0,40	1,00	0,40	1,50	0,40
Мощность в л. с.	28,4		30,1		30,6		30,5		30,0	
Расход топлива в г/элсч	260		244		251		256		264	

Из приведенных в таблице 4 данных видно, что несмотря на резкое изменение зазоров клапанов от 0,10 до 1,50 мм мощность двигателя изменяется очень мало. На-

ши предположения, что резкое увеличение зазоров клапанов в карбюраторном двигателе сильно уменьшит «время-сечение», а, следовательно, уменьшит наполнение цилиндра горючей смесью и тем самым вызовет падение мощности двигателя — не подтвердились. Очевидно, несмотря на уменьшение «время-сечения», наполнение цилиндра двигателя горючей смесью практически сохранилось. Это возможно при увеличении скорости горючей смеси через уменьшенное проходное сечение клапана (в связи с увеличением зазора клапана), что и следует из формулы:

$$V_h = W_{cp}\frac{\pi d_2 \cos\varphi}{\omega} F_2\mu$$

Здесь Vh — объем цилиндра.

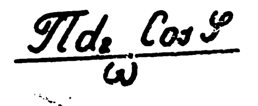
Wср — средняя скорость горючей смеси в проходном сечении клапана. Она лежит в пределах 45 — 60 м/сек для двигателей с числом оборотов коленчатого вала до 1,500 об/м.

$F_2\mu$ — «время-сечение», определяемое из диаграммы подъема клапанов;

d_2 — диаметр всасывающего патрубка,

φ — угол фаски клапана,

ω — угловая скорость кулачкового вала.

Выражение  величина постоянная, а

Wср и $F_2\mu$ являются величинами переменными.

Изменяя зазоры клапанов (подъем клапана), мы тем самым изменяли «время-сечение», т. е. $F_2\mu$, но и скорость горючей смеси Wср изменялась, и очевидно, почти обратно-пропорционально «времени-течению».

Вот поэтому-то показатели работы двигателя и изменялись мало заметно.

Выводы

1. Фактические зазоры клапанов работающих двигателей резко отклоняются от нормальных и лежат в пределах от 0,01, до 3—4 мм.

2. Отклонение зазоров клапанов от нормы в 1½—2 раза существенного влияния на мощность и расход двигателем топлива не оказывают. Дальнейшее увеличение зазоров клапанов становится более заметным на динамике и экономике двигателя.

3. Отклонение зазоров клапанов от нормальной величины вызывает нарастание стуков клапанов о коромысла при верхнем расположении клапанов или о толкатели при боковом расположении клапанов и, конечно, ускоряется в этом случае износ этих деталей.

4. В связи с увеличением износа клапанов и толкателей и усиления стуков (шумов), работа в течение длительного времени двигателя с увеличенными зазорами клапанов не должна допускаться.

Литература:

В. Н. Болтинский. Тракторные и автобильные двигатели. Издание сельхозгиз. 1953 г.

КАРАВАЕВ М. В.,
кандидат технических наук.

ВЛИЯНИЕ ИЗНОСА ПЛУНЖЕРНЫХ ПАР ТОПЛИВНОГО НАСОСА ДИЗЕЛЯ НА ПОДАЧУ ТОПЛИВА

В процессе работы топливного насоса плунжерные пары изнашиваются, зазоры между плунжером и гильзой увеличиваются, давление впрыска снижается, а подача топлива на цикл уменьшается. Изменяется и момент подачи и продолжительность впрыска топлива. Все это ухудшает работу дизеля.

С целью выявления влияния износа плунжерных пар на подачу топлива нами были проведены некоторые испытания плунжерных пар топливного насоса тракторного дизеля D-35. В процессе предварительной проверки выбракованных плунжерных пар на развиваемое давление, характеризующее степень износа, оказалось, что лишь около 50% плунжерных пар не развивали давление в 125 атм. при 200 об/м, а остальные 50%, следовательно, могли бы еще некоторое время работать. Для испытаний нами были отобраны 20 плунжерных пар с давлением от 88 до 310 атм. при 200 об/м. насоса и для сравнения показателей взята была новая плунжерная пара.

Испытания проводились на стенде КО-1608. При испытаниях определялось давление, развиваемое плунжерной парой, момент впрыска топлива и продолжительность впрыска, количество топлива, впрыскиваемого на цикл. Толкатели насоса предварительно были отрегулированы на одинаковую высоту при помощи регулировочных болтиков в торце толкателя и индикаторной головки.

Скоростные режимы насоса были приняты равными 200, 400, 600, 700 об/м. Обороты насоса определялись при помощи специально изготовленного тахометра, соединенного гибким валиком с кулачковым валиком насоса. Скоростной режим насоса устанавливался при включенной подаче топлива, так как при выключенной

подаче число оборотов насоса несколько (на 6—10 об/м) возрастало.

Испытание плунжерных пар на развиваемое давление проводилось при полной подаче топлива. Момент начала подачи и продолжительность подачи топлива определились впрыском топлива на стандартный диск, закрепленный на валике насоса, при скоростном режиме 700 об/м.

Развиваемое парой давление определялось при помощи максиметра, закрепляемого на штуцере испытываемой пары. В торец максиметра, через просверленное отверстие, был вставлен штифт, один конец которого упирался в иглу максиметра, а другой — в изолятор подвижного контакта прерывателя тока специальной электрической установки, состоящей из: автомобильного 6-ти вольтового аккумулятора—прерывателя тока—индукционной катушки — неоновой лампы.

Работа указанной установки протекала следующим образом: **при некоторой незначительной упругости пружины максиметра игла перемещала штифт вперед, а он перемещал подвижной контакт и замыкал цепь тока низкого напряжения. В этом случае топливо, подаваемое плунжерной парой через максиметр, вызывало стро**го периодическое замыкание и размыкание контактов и ровное, без заметных миганий, свечение неоновой лампы. Увеличение упругости пружины за счет поворота головки максиметра, вызывало большее сопротивление проталкиванию топлива. Топливо начинало проталкиваться через максиметр с пропусками, на что указывало мигание неоновой лампы. Начало мигания неоновой лампы отмечалось нами как начало пропусков в подаче топлива. Ему соответствовало определенное давление максиметра. Дальнейшее увеличение упругости пружины максиметра вызывало более частые пропуски в подаче топлива, а при каком-то, еще более высоком давлении подача топлива плунжерной парой совсем прекращалось, чему соответствовало полное прекращение свечения неоновой лампы. Стало быть, в этот момент игла максиметра не отжималась топливом и оно все протекало вокруг плунжера, штифт удерживал контакторы прерывателя в замкнутом состоянии, неоновая лампа не светила. Этот момент отмечался нами как полное прекращение подачи топлива. Конечно, как и следо-

вало ожидать, более изношенные плунжерные пары начинали делать пропуски в подаче топлива при более низких давлениях. Полное прекращение подачи топлива находится также в прямой зависимости от степени изношенности плунжерных пар.

Ниже в таблице 1 приводятся данные давлений нескольких плунжерных пар при работе насоса на различных скоростных режимах и при полной подаче топлива.

Таблица № 1

Полунжерные пары	1	2	3	4	5	6	7
200 об/м	101 - 122	137 - 168	200 - 247	262 - 315	394 - 410	365 - 525 и более	455 - 525 и более
400 об/м	144 - 250	177 - 260	234 - 337	300 - 477	302 - 512	346 - „ -	442 - „ -
600 об/м	180 - 210	232 - 332	240 - 374	310 - 500	298 - 218	314 - „ -	370 - „ -
700 об/м	148 - 206	225 - 322	234 - 400	304 - 504	255 - 515	284 - „ -	350 - „ -

Примечание: 1. Первая цифра означает давление, соответствующее началу пропусков подачи топлива, а вторая цифра — прекращению подачи;
2. Седьмая плунжерная пара — новая.

Из приведенных в таблице 1 данных видно, что:

1. С увеличением износа плунжерных пар перепад давлений на всех скоростных режимах увеличивается, что является, конечно, следствием нарушения плотности плунжерных пар.

2. У изношенных плунжерных пар перепад давлений следует закону несколько выпуклой кривой линии, а у мало изношенных, и, тем более, неизношенных пар — закону понижающейся, с увеличением скоростного режима, кривой. Это следует объяснить взаимосвязью: степенью износа и скоростью движения плунжера, а стало быть скоростью просачивания топлива между гильзой и плунжером.

3. С увеличением износа плунжерных пар разность давлений между началом пропусков подачи топлива и полным прекращением подачи уменьшается.

Нами была также произведена проверка влияния износа плунжерных пар на угол впрыска и продолжительность подачи топлива. Для этого применялся метод впрыска топлива на диск при полной подаче и скоростном режиме 700 об/м. Для приведенных в таблице 1 плунжерных пар были получены следующие результаты (таблица 2).

Таблица 2.

Плунжерные пары	1	2	3	4	5	6	7
Угол впрыска	284—289	15—21	102—109	284—292	193—202	291—202	100 111
Продолжительность впрыска	5°	6°	7°	8°	9°	10°	11°

Примечание: первые цифры соответствуют началу впрыска, а вторые — его концу.

Из приведенных в таблице 2 данных, несмотря на невысокую точность прибора (впрыск топлива на диск) ясно видно, что:

1) с увеличением износа плунжерных пар (с уменьшением давления) продолжительность впрыска резко уменьшается.

2. уменьшение продолжительности впрыска идет в основном за счет ранней отсечки подачи топлива, тогда как начало впрыска запаздывает мало. Очевидно, процесс подачи топлива протекает в данном случае так: в начальный период движения плунжера топливо мало успевает утечь между гильзой и плунжером и потому начало подачи запаздывает незначительно по сравнению с нормальной подачей. В дальнейшем же, по мере продвижения плунжера вверх, уже значительная часть топлива успевает утечь между гильзой и плунжером и, следовательно, конец подачи наступает значительно раньше нормального.

Для улучшения работы дизеля на подношенных плунжерных парах, следует периодически восстанавливать нормальный угол начала подачи топлива и даже давать некоторое опережение имея ввиду, что подача топлива изношенной парой несколько запаздывает в зависимости от степени износа. Такое мероприятие увеличит продолжительность подачи, количество подаваемого на цикл топлива и в целом улучшит работу дизеля на подношенных плунжерных парах.

Что касается подачи топлива на цикл, то она, естественно, изношенными плунжерными парами резко уменьшается. Так, для первой плунжерной пары (см. таблицу

1 и 2), наиболее изношенной, подачи топлива на цикл оказалась равной 16 мм^3, т. е. почти в 4 раза меньше нормальной.

Предложения:

1. Выбраковывать подношенные плунжерные пары только после проверки их на развиваемое давление.
2. Периодически проверять с помощью максиметра непосредственно на тракторе давление, развиваемое плунжерными парами с целью изменения угла опережения впрыска топлива и улучшения работы дизеля.
3. Желательно разработать автомат-регулятор, следящий за изменением давления подношенных плунжерных пар и обеспечивающий выравнивание момента подачи топлива в некоторых допустимых пределах.

НЕЦВЕТАЕВ Н. П.

ВОПРОСЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КИНО В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ

В законе «Об укреплении связи школы с жизнью и о дальнейшем развитии системы народного образования в СССР» указывается, что «Перестройка школьного образования потребует изменения не только содержания, но и методов обучения в сторону всемерного развития самостоятельности и инициативы учащихся. Следует повысить наглядность обучения, широко использовать кино, телевидение и т. п., преодолеть абстрактность в преподавании основ наук и производства».

Кино является могущественным средством воспитания и обучения трудящихся. Н. К. Крупская говорила: «Никакими словами не расскажешь того, что можно показать в кино». Эти слова приобретают особую актуальность в наши дни — период ускоренного технического прогресса. Учебные и научно-популярные кинофильмы помогают сблизить теорию с практикой и наглядно показать все новейшие достижения науки и техники.

На советскую школу возложена почетная задача подготовки будущих строителей коммунистического общества, подготовки всесторонне развитых людей, в совершенстве владеющих основами наук, знающих основы производства и умеющих свои знания и навыки применять для практических задач.

В свете этих требований возникает настоятельная необходимость в совершенствовании, активизации и разнообразии форм и методов учебно-воспитательной работы, широкого внедрения наглядности в обучении. Одним из эффективных наглядных пособий является кино.

Если раньше на кино смотрели как на чисто зрелищное предприятие, то в настоящее время эти взгляды в корне изменились. Практика социалистического строительства показала, что кино имеет громадное научное

значение. Кинематограф обладает двумя замечательными свойствами, делающими его незаменимым средством точного научного исследования и эксперимента. Первое свойство — это способность фиксировать движение (перемещение или изменение) предметов и затем воспроизводить на экране движущуюся картину снятого киноаппаратом процесса любое число раз с целью изучения. Второе свойство — возможность во много раз замедлять или ускорять на экране снятый на кинопленку процесс и делать доступным наблюдение и изучение закономерностей, которые не видит и не может видеть человеческий глаз в естественных условиях. Взаимодействие отдельных частей машин и механизмов во время их работы, полет снарядов и ракет, электрический разряд в процессе его развития, произрастание растений, деление клетки и многие другие процессы стали зримыми только благодаря применению скоростной (рапидсъемки), или, наоборот, замедленный (цейтраферной) киносъемки. Сочетание киносъемочного аппарата с микроскопом, телеоптикой, рентгеновским аппаратом, съемки в инфракрасных и ультрафиолетовых лучах, в поляризованном свете и другие виды съемки чрезвычайно широко раздвинули рамки научного исследования, осуществляемого с помощью кинематографа.

Специфика кино делает его ценным и эффективным средством обучения и воспитания учащихся в школе. Вдумчивый подход к использованию кино на уроках, методически правильное соотношение показа и рассказа дает в руки учителя мощное средство педагогического воздействия. Замечательные качества хорошего кинофильма, обладающего образным и динамическим языком, помогают учителю донести до сознания учащихся трудно усваиваемые процессы и явления. Например, прохождение тока через жидкости, наличие ионов и роль источника тока в их движении трудно даются учащимся со слов учителя. Когда же изложение этого материала происходит с демонстрацией фрагментов из учебного фильма «Электролиз и его применение в технике», понимание становится более доступным и осознанным. Или возьмите вопросы устройства и работы фотоэлементов, электронных ламп, электронно-лучевой трубки, электромагнитные колебания и волны, радиолокация и многие другие. Учащиеся усваивают их с трудом, часто

не понимая сущности происходящих процессов, т. к. они скрыты от их непосредственного наблюдения. Кинофильмы на эти темы имеются и в нашей областной фильмотеке. Они прекрасно восполняют пробел. Мультипликация воссоздает на экране и те процессы, которых нельзя увидеть во время опыта. Массу таких примеров можно привести по любой дисциплине.

Читая курс основы машиноведения в нашем институте, мы широко использовали научно-технические фильмы. Опыт показал, что удачно подобранные фрагменты или отдельные части фильма, содержание которых соответствует теме лекции, помогают усвоению изучаемого материала, расширяют технический кругозор студентов, знакомят их с современными достижениями из области науки и техники и внедрением их в производство. Использование кинофильмов при изучении производственно-технических дисциплин создает действительное представление о современном механизме или машине, размещении ее узлов и деталей, взаимодействии частей, недоступных обычному наблюдению. При отсутствии необходимого современного технического оснащения кабинетов, использование кинофильмов является насущной необходимостью. Ознакомившись с устройством и работой механизмов и машин, энергетических установок и технологических процессов с помощью кино студенты и учащиеся легче разбираются и понимают сложную технику современного производства, придя на завод. Если учесть, что во многих школах в распоряжении преподавателя машиноведения весь арсенал техники состоит из модели паровой машины, уровня 19 века, модели цилиндра двигателя внутреннего сгорания и нескольких устаревших или упрощенных — школьных металлорежущих станков, то станет совершенно очевидным, что этой базой ограничиваться нельзя. В современных условиях, в век атомной техники и электроники, готовя учащихся к производственной деятельности, нужно шире изучать различные машины и энергетические установки и в этом деле большую помощь оказывают кино и экскурсии на заводы.

Такие короткометражные учебные фильмы, как «Устройство механизмов и машин», «Детали механизмов и машин», «Эксплуатация машин», «Паровая машина», «Гидротурбины», «Реактивные двигатели», «Автомати-

ка и телемеханика в производстве», «Литье металлов», «Обработка металлов», «Термическая обработка стали», «Электростанция», «Машиностроительный завод» и многие другие являются хорошими наглядными пособиями в политехнической подготовке учащихся; все они имеются в нашей облфильмотеке.

В связи с неуклонным расширением применения кино в школе возникает немало сложных организационных и методических вопросов.

Учебный фильм, в зависимости от его содержания, а также от наличия в распоряжении учителя других наглядных пособий, может быть использован при объяснении нового материала, при закреплении и повторении пройденного материала программы. Предпочтение надо отдать использованию фильма при первичном изучении материала. Правда, это более трудный вариант, но зато и более эффективный. Он требует от преподавателя тщательной подготовки и отбора фрагментов фильма, органически связанных с темой урока.

По своей структуре учебные фильмы делятся на 3 типа — целостные, фрагментарные и кольцовки. Целостные фильмы могут демонстрироваться без комментирования их преподавателем, т. к. они стремятся исчерпать весь материал темы, причем в них имеется второстепенный или элементарный материал уже известный учащимся и, как правило, большинство целостных фильмов не может быть использовано на обычном уроке полностью. Учитель не должен тратить учебное время на показ материала, не являющегося насущно необходимым для решения педагогической задачи урока или лекции.

В отличие от целостных фрагментарные фильмы не претендуют на полноту изложения, не вытесняют преподавателя и обычные наглядные пособия, дают возможность преподавателю включать их как составные элементы, вместе с другими пособиями, дополнять и комментировать, добиваясь полноты и стройности урока или лекции в целом. Фрагментарный фильм экранизирует лишь объекты динамические, недоступные непосредственному наблюдению, наиболее важные, которые действительно требуют показа средствами кино в учебном процессе.

Кольцовкам характерна чрезвычайная ограниченность содержания, воспроизведение какого-либо цикли-

ческого или непрерывного движения, причем демонстрация кольцовки может быть повторена любое число раз. Однако ограниченность метража (1,5 — 2 м) резко суживает тематику кольцовок, к тому же несовершенство конструкции бабины-кассеты затрудняет демонстрацию, происходит быстрый износ, и широкого применения в практике школ они не получают.

Учитывая указанные особенности, наиболее пригодны для учебных целей фрагментарные фильмы, но, к сожалению, их пока еще мало. Одной из причин ограниченности является противодействие со стороны режиссеров и сценаристов учебного кино, предпочитающих работать над целостными фильмами. Однако это явление временное и в ближайшее время надо ожидать значительного пополнения ценных и нужных для школы фильмов.

Примером хорошего фрагментарного фильма является старый инструктивно-методический фильм «Урок физики в средней школе». Урок «Сообщающиеся сосуды», **воспроизведенный в фильме, является образцом правильного определения места кино в учебном процессе, сочетания кино с другими средствами наглядности, с живым словом учителя. Жаль, что копии этого фильма уже изношены и сняты с эксплуатации, а следовало бы** его воспроизвести вновь. Неплохой фрагментарный фильм поступил в прокат в этом учебном году — «Кинопередвижка КПШ». Это хорошее наглядное пособие для изучения кинопроектора.

Таким образом, фрагментарный фильм наиболее соответствует для использования на уроке при изложении нового материала.

Характерной особенностью этой формы является подчинение кинофильма целевой установке урока и использование его в том месте урока, где кинопоказ в методическом отношении будет наиболее целесообразнее, в зависимости от его содержания.

Кинофильм на уроке демонстрируется от 5 — 7 до 15—20 минут. В отдельных редких случаях демонстрация длится 25 — 30 минут. Не обязательно на уроке демонстрировать весь фильм, можно ограничиться одной частью, половиной или отдельными фрагментами.

Методика работы с фильмом на уроке требует, прежде всего, правильного отбора материала, нужного для данного урока.

Как показывает опыт, материал фильма хуже доходит до сознания учащихся, если он не сопровождается пояснениями учителя. Учитывая быструю смену кадров, необходимо пояснения давать лаконично и синхронно с изображаемым на экране. Если кадры требуют более длительного пояснения, кинопроектор следует на это время выключить, особо важные места желательно повторить, перемотав часть фильма обратно на сматыватель (на кинопроекторе «Школьник» это сделать легко). Во время остановок, перезарядки и перемотки повторяемого материала кинодемонстратором, учитель дает пояснения или дополняет содержание согласно намеченному плану урока. При этом используются и другие имеющиеся наглядные пособия или статическая проекция с помощью фильмоскопа или эпидиаскопа. Желательно иметь диафильм того же названия, что и кинофильм. В этом случае демонстрация кадра в статике должна предшествовать его динамическому развитию. Сочетанием статической и динамической проекции опытные учителя добиваются высокой выразительности и наглядности изучаемого материала. Для руководства вниманием учащихся по наблюдению за определенной частью изображения на экране удобно пользоваться свето-электрической указкой. Не отходя от кинопроектора или фильмоскопа учитель указывает на экране нужные объекты. По ходу демонстрации рекомендуется ставить краткие вопросы к наиболее важным кадрам, требующим лаконичных ответов. Желательно перед демонстрацией поставить несколько наиболее существенных вопросов, ответы на которые даются учащимися устно или письменно после просмотра. Это способствует более глубокому восприятию и акцентированию внимания на наиболее важных местах.

Не следует злоупотреблять пояснениями и вопросами во время демонстрации фильма, нельзя отставать при пояснениях от кадров на экране к которым оно относится, иначе у учащихся возникает раздвоенность внимания. При пояснении звуковых фильмов необходимо учитывать дикторский текст, давать пояснения в паузы или же выключать на время громкость, если пояснения учителя будут более нужными и более ценными, чем звуковое сопровождение.

Все это должно быть продумано и предусмотрено за-

ранее, при предварительном просмотре и изучении фильма, за день-два, в крайнем случае, накануне демонстрации. При этом при 2 — 3-кратном просмотре учитель запоминает содержание, последовательность смены кадров, ритм кинофильма намечает, где и какого содержания дать словесные пояснения и вопросы учащимся, где следует сделать остановку, что повторить или дополнить статической проекцией или другими наглядными пособиями, т. е. составляет детальный план урока с применением кино и других наглядных пособий.

В практике работы школ и ВУЗов мало уделяется внимания методике уроков с демонстрацией кинофильмов. Не редки случаи, когда демонстрируемый фильм не имеет прямой связи с темой урока, является чужеродным телом, а не органическим элементом урока или лекции, не говоря уже о других требованиях предъявляемых к данному виду учебных занятий, т. е. имеет место скатывание на легкий путь примитивных киносеансов, с пассивным участием преподавателя.

Учебный фильм не может заменить учителя, а потому урок не должен превращаться в киносеанс.

Проведению урока с применением кино при первичном изучении должна предшествовать подготовительная, творческая работа учителя.

Демонстрация учебного фильма с целью закрепления пройденной темы или повторения материала (например, в конце года) целесообразно сопровождать беседой в вопросно-ответной форме. В этом случае материал фильма уже известен учащимся и нет необходимости применять приемы, характерные для работы с фильмом при первичном изучении материала. Опираясь на знания учащихся, следует концентрировать их внимание на кинокадрах соответствующими вопросами. На уроках повторения фильм демонстрируется при максимальной активности учащихся, которые отвечают на поставленные учителем вопросы.

Таким образом, при тщательной подготовке, правильном отборе демонстрируемого материала, методически оправданном соотношении показа и рассказа, в сочетании с другими наглядными пособиями, учебное кино является одним из эффективных средств повышения качества учебно-воспитательной работы в школе.

ЕРОФЕЕВ Е. С.

ОРГАНИЗАЦИЯ ТРУДА ШКОЛЬНИКОВ В ПРОЦЕССЕ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ОБУЧЕНИЯ, КАК ФАКТОР ВОСПИТАНИЯ ТРУДОВОЙ АКТИВНОСТИ

Опыт работы многих школ и предприятий Ульяновской области убеждает, что рациональная организация труда имеет исключительно важное значение в воспитании у школьников коммунистического отношения к труду.

Еще на заре Советской власти Н. К. Крупская писала о необходимости изучения учащимися старших классов школы специального курса «Организация труда». В ряде своих статей она доказывала, что знания о научной организации труда помогают учащимся подвести итоги тому, чему дети учатся в течение всего пребывания в школе. Вопрос о правильной организации труда учащихся и рабочих на предприятиях она считала одним из основных вопросов политехнизма.

«Уметь работать — значит уметь учитывать и свои силы, и силы других, и все условия работы, уметь подводить итоги сделанному» (Педагогические сочинения» т. 4 стр. 71).

Практика учебно-воспитательной работы школ убеждает, что не только знания, умения и навыки, приобретаемые в процессе производственного обучения, благотворно влияют на формирование морального облика, но и сами условия производства, сама система, формы и методы привлечения учащихся к производительному труду оказывают большое воздействие на воспитание и обучение.

Но отдельные работники школ и предприятий не уделяют достаточного внимания вопросу организации труда учащихся. Часто эта работа ограничивается представлением рабочих мест, которые к тому же в ряде случаев не отвечают учебным и воспитательным целям. Вопросы научной организации труда школьников не рассматриваются подробно на технических советах заводов и фаб-

рик совместно со школой. Нет достаточно полного освещения передового опыта и теоретического обобщения вопросов организации труда школьников в литературе.

Опыт передовых предприятий и школ Ульяновской области убеждает нас, что только такая организация труда будет повышать трудовую активность школьников, которая органически связана с технико-экономическими условиями данного производства. Она неизменно должна развиваться и совершенствоваться вместе с развитием техники и технологии производства, повышением культурно-технического уровня окружающих школьника рабочих.

Так, например, руководители производственного обучения средних школ №№ 1, 38 г. Ульяновска основной задачей организации труда школьников считают создание благоприятных условий для проявления ими трудовой активности в процессе производственного обучения, систематического повышения производительности труда всех учащихся. С этой целью на базовых заводах осуществляется комплекс различных организационно-экономических мероприятий, обеспечивающих правильную расстановку школьников по отдельным участкам производства: устанавливается наиболее рациональный режим их работы, используется экономическая заинтересованность, социалистическое соревнование и моральные стимулы. Работники этих школ и базовых заводов добиваются, чтобы школьники обеспечивались не только рабочими местами и объектами труда, но и четко определились формы взаимоотношения их в процессе труда со своими товарищами, работниками завода, правильно решались вопросы разделения и кооперирования труда.

На предприятиях области практикуются различные формы организации труда учащихся: производственная бригада (самостоятельная или в составе бригады рабочих) и индивидуальная (с многообразными особенностями).

Наиболее интересной формой организации труда являются производственные бригады школьников 1-ой средней школы им. В. И. Ленина, созданные на заводе «Контактор». Работа этих бригад организована на участках по типу производственного коллектива. Ученики производственной бригады выполняют различную организационно-экономическую работу. Из числа учеников завуч производственного обучения школы назначает бригади-

ров, учетчиков, комплектовщиков и контролеров. Им поручается:

— следить за выполнением режима труда и правил техники безопасности, вносить предложения по эффективному использованию материалов;

— наблюдать за чистотой и порядком на рабочем месте, следить за правильным использованием и сохранностью инструмента и оборудования;

— оказывать помощь в обеспечении рабочих мест материалами, комплектующими изделиями;

— учитывать количество и качество выпускаемой продукции, составлять табель и выписывать наряды на выполненную работу, контролировать и повышать ответственность за выполнение задания...

Ученическая производственная бригада, под руководством своих организаторов, устанавливает связь с участками производства по технологическому процессу, определяет экономические показатели работы ученических бригад, организует массово-политическую работу.

Бригада является производственной единицей. Уже этим определяются условия работы школьников, близкие к условиям работы всех других бригад на предприятии

Ученические бригады организуются из числа учеников одного класса, тем самым сохраняется ученический коллектив.

Наряду с приобретением навыков к труду, учащиеся приобретают некоторые навыки и знания по организации производства, полнее осознают общественный характер труда, учатся вести учет и давать оценку как своему труду, так и труду товарища. В условиях бригады полнее развивается чувство коллективизма.

Коллективная ответственность за качество и темпы работы, характерные для поточного производства, требуют от учащихся привычки сообща добиваться осуществления общих целей. В общественном труде возникает взаимный контроль, ответственность, которые, как отмечал А. С. Макаренко, оказывают сильнейшее влияние на развитие коллективизма и чувства ответственности у учащихся.

Этот опыт организации труда школьников на заводе «Контактор» сейчас обобщается и распространяется на другие предприятия.

Производственные бригады учащихся средних школ №№ 40, 41 города Ульяновска, организованные в порядке

опыта на базовых предприятиях, вполне оправдали себя и показали большое воспитательное значение. Закрепление за бригадами школьников объектов труда и средств производства, вручение им заданий с указанием количественных и качественных показателей способствует воспитанию у учащихся творческого отношения к труду, стремлению выполнить порученное дело как можно лучше.

Возможности для организации производственных бригад школьников имеются на большинстве предприятий области. Однако эта прогрессивная форма организации труда широко не используется. Даже на таких работах, как радио и электромонтажные, сборочные и пошивочные работы, которые не вызывают сомнения в целесообразности создания ученических связей между собой и рабочими, активно не включаются в трудовые отношения, основанные на коммунистической морали.

Большую роль в обучении и воспитании школьников играет режим труда. Не случайно поэтому широкую дискуссию среди работников школ вызвал вопрос о рациональном режиме труда школьников на предприятии. В этом вопросе еще нет единого мнения. Режим труда в различных школах самый разнообразный. Например, в прошлом году на электромонтажном участке автомобильного завода комплектование и определение смен проходило по желанию самих учащихся. В результате, один день ученик работал с одним коллективом, в другой—с другим. Учащиеся имели возможность приходить на завод в первую или вторую смену в зависимости от занятости их внешкольными массовыми и спортивными мероприятиями. Коллектив класса на производстве не сохранялся, воспитательное значение такого режима труда заметно снижалось.

Не всегда режим труда, устанавливаемый школой, отвечает конкретным условиям производства.

Например, учащиеся 3 средней школы г. Ульяновска на производственном участке за два дня работы в неделю по 4 часа в день не успевают завершить весь технологический цикл изготовления деталей. Завод не может держать незавершенную продукцию и вынужден заканчивать ее силами рабочих. Учащиеся осваивают рабочие приемы по частям, поэтому они не ощущают результатов своего труда и тем более не видят общественной значимости своих усилий. Такой режим труда не поможет уча-

щимся научиться планировать технологический процесс, не познакомит их с конструкцией изделий.

Все это способствует развитию чувства разочарования и безразличия к трудовым обязанностям. В таких условиях целесообразно увеличить время непрерывного пребывания учеников на заводе до одной недели, для того, чтобы они могли сами завершить весь технологический цикл.

На некоторых предприятиях увеличение периода работы на заводе до одной недели или более, объясняется сложностью освоения трудовых навыков на современном оборудовании или разнообразием форм в разделении труда, (не допустить обезлички, организовать совмещение профессий или работу школьников в производственных бигадах рабочих).

Опыт организации производственного обучения показывает, что при определении режима труда, школа и предприятие должны учитывать условия производства, технологию изготовления промышленной продукции и учебно-воспитательные цели.

Например, учащиеся Барышской средней школы № 2 работают на учебном участке на ткацких станках два раза в неделю по 4 часа. Технологический процесс на фабрике позволяет учащимся видеть результаты своего труда ежедневно. Выполняя установленную норму, учащиеся ощущают радость труда.

Такой режим способствует равномерному чередованию физического труда с теоретическими занятиями и отдыхом. Рабочий день ученик начинает с новыми силами и добивается успеха.

Под влиянием систематического и твердо установленного режима труда, школьники вырабатывают привычку трудиться на общую пользу.

А воспитание без привычек, указывал К. Д. Ушинский, — это здание, построенное на песке.

Важно установить правилный режим труда и отдыха внутри каждой смены. В учебном цехе 38 средней школы, например, учащиеся работают 4 часа, через каждые 50 мин. работы делается перерыв на 5—10 мин. Путем дополнительных организационных мер (увеличение перерыва на отдых или увеличение числа учеников на тяжелых операциях и т. д.) предупреждается чрезмерная утомляемость.

Следует предусматривать мероприятия по эффективному использованию труда школьников и средств производства.

Лучших результатов добиваются работники школ и предприятий, которые организуют труд учащихся в коллективе и на отдельных производственных участках.

Дирекция завода малолитражных двигателей передала учащимся 40 средней школы станочную линию по производству шатуна к малолитражному двигателю Л-6, школе установили твердый план, который теперь должны выполнять учащиеся. В этой линии 14 станков. Ученики работают в две смены по 4 часа. Все станочные работы (фрезерные, токарные и другие) по обработке заготовок — учащиеся выполняют самостоятельно. На участке установлена коллективная и индивидуальная ответственность за качество работы перед рабочими завода. Всякий брак администрация цеха учитывает и каждому учащемуся разъясняет к чему ведет увеличение брака.

Отношение учащихся к работе обсуждается на производственных совещаниях, на ежедневных планерках и собраниях рабочих цеха. Сколько дали они продукции за декаду, месяц, все это строго учитывается. Отсутствие достаточно четкого контроля за эффективностью использования труда учащихся и средств производства приводит к срыву плана, и тогда всеми руководящими работниками цеха и школы принимаются немедленные меры по устранению недостатков.

С учащимися проводятся беседы по этим вопросам. Осознавая свое умение, свою власть над орудиями труда, учащиеся усиливают настойчивость в преодолении трудностей, у них повышается интерес и вырабатывается привычка к простому повседневному труду.

Не менее важной задачей в организации труда учащихся является облегчение и улучшение условий их труда, на основе постоянного совершенствования техники, технологии и организации производства.

С целью обмена опытом в Ульяновской области ежегодно проводятся общественные смотры учебно-материальной базы. На фабриках им. КИМ, им. Кл. Цеткин, им. Гладышева и других систематически проводятся мероприятия по расширению учебных участков, улучшению санитарно-гигиенических условий труда и техники безопасности. За последнее время в Ульяновской области

создано 3 учебных цеха, 32 учебных участка, выделено 600 рабочих мест.

Всякая организация труда учащихся предполагает строгую дисциплину труда на производстве, которая регламентируется трудовым законодательством и правилами внутреннего трудового распорядка. Это учитывается при организации труда учащихся. Так, например, в учебном цехе 38 сред. школы, на учебных участках фабрики им. Гладышева составлены памятки или правило трудового распорядка для учащихся. В правилах устанавливаются обязательные нормы поведения учащихся в процессе труда. В них предусматриваются требования по содержанию рабочего места, правила техники безопасности, ответственность за выполнение производственных заданий, сохранность инструмента, материалов. Указаны права и режим работы учащихся на предприятии. Наши наблюдения показывают, что введение правил поведения учащегося с учетом местных условий производства, заметно дисциплинирует, повышает организованность, четкость и интенсивность труда. Под воздействием установленных правил, которые в условиях производства приобретают общественное значение, дисциплина не является в тягость учащемуся.

Пренебрежительное отношение к физическому труду и неуважение к людям появляется у учеников там, где труд не является систематическим, где отсутствуют твердо разработанные имеющие общественное значение и контролируемые правила поведения.

Передовые инструкторы производственного обучения тов. Борзунин В. А., Бронова Г. С. утверждают, что установленные в цехе правила поведения дисциплинируют учащихся, организуют их производственную деятельность, приучают к порядку, воспитывают волю, не позволяют отвлекаться от поставленной задачи.

Правильная, педагогически обоснованная организация труда, способствует максимальному развитию творческой инициативы и социалистического соревнования школьников, всемерному распространению опыта новаторов и передовиков производства.

Примеры такой организации труда школьников можно видеть в Барышской средней школе № 2 и ф-ки им. Гладышева.

На этой фабрике в начале года учащиеся заключают договоры на социалистическое соревнование между собой, классами и передовыми рабочими, бригадами коммунистического труда.

Итоги социалистического соревнования регулярно подводятся и обнародываются на совместных вечерах рабочей молодежи и учащихся школы. На учебном участке имеется доска показателей выполнения учащимися своих обязательств. Лучшему учащемуся, перевыполняющему нормы, вручается красный флажок, который ставится на его рабочее место. В социалистических обязательствах учащихся предусматривается отношение к труду, к образованию, борьба за высокую производительность труда, высокое качество продукции, сохранность оборудования, экономия материалов, дисциплинированность, культура труда и другие требования морального кодекса. Недавно на фабрике им. Гладышева были подведены итоги социалистического соревнования между учащимися 11 класса Барышской школы № 2 и бригадой коммунистического труда т. Лукьянова Д. И. Учащиеся значительно лучше выполнили свои обязательства, им присвоено почетное звание бригады коммунистического труда. Социалистическое соревнование помогает школьникам наглядно видеть, повседневно ощущать общественный характер труда каждого человека, осознавать свои производственные результаты в сравнении с результатами других учеников, бригад и взрослых рабочих. Соревнование углубляет чувство гордости за достигнутые успехи, способствует развитию творческой инициативы.

Организация труда школьников на предприятии должна включать систему оценок и последовательное осуществление принципа моральной и материальной заинтересованности их в результатах труда. В период производственного обучения проверка и оценка знаний, умений и навыков учащихся приобретает решающее значение. Без правильной постановки этой части организации труда нельзя добиться желаемых результатов в воспитании и обучении школьника. Объективная оценка результатов труда нужна учащемуся, как соль, организму.

Между тем, у некоторой части работников предприятий и школ отсутствует ясность в организации работы по проверке и оценке практических знаний, умений и навыков. На некоторых заводах, например, оценки выставля-

ют каждый день. На другом на первый план при определении оценки выставляется качество, а затраченное время не учитывается. Во многих случаях не учитываются технические и организационные навыки, умение применять общеобразовательные знания на практике. Объем знаний и практических умений ограничивается требованиями тарифно-квалификационного справочника. Это приводит к узости профессиональной подготовки.

Иногда при проверке и оценке знаний допускаются крайности. У одного инструктора проверка превращается в пустую формальность и учащихся не волнует его оценка, у другого — вызывает волнение, страх или боязнь, сковывающие мысль и волю учеников.

Но есть и другие примеры. Инструкторы производственного обучения тт. Борзунин А. Н. и Асонов А. И. добиваются того, чтобы учащиеся не только не боялись проверки знаний и умений, а, наоборот, желали ее как пробы своих сил, возможности увидеть и проверить свои способности. Ученику, который старается освоить рабочие приемы, но еще не может их выполнить, они не ставят плохой оценки, дают ему время освоить трудную операцию, и убедиться, что он может успешно освоить все необходимые приемы работы. Доверие и поощрение в данном случае лучше, чем наказание.

Стремление школьников к производительному труду должно стимулироваться требовательностью, поощрением и объективной оценкой, труда учитывающей результаты физических и умственных усилий школьников.

На предприятиях области распространены и оправдали себя такие методы проверки знаний и навыков учащихся, как наблюдение, проведение контрольных работ (проб.), выполнение графических работ, составление технологических и инструкционных карт, рисунков, схем; проведение расчетов, измерений, выполнение лабораторных работ, решение технико-экономических или учебно-производственных задач, устная проверка знаний, проведение письменных работ.

В порядке обобщения опыта и в целях наиболее полной и систематической проверки знаний, умений и навыков, нами разработаны временные типовые требования к успеваемости учащихся по производственному обучению*.

Проверка этих норм на предприятиях города показала, что они помогают инструкторам систематизировать требования к учащимся по вопросам практических умений и навыков, правильно оценивать теоретические (специальные) общеобразовательные и политехнические знания юношей и девушек, умение использовать все эти знания в процессе физического труда.

Наши показатели оценок в основном совпадают с рекомендациями, изложенными Б. Е. Гельбургом, М. А. Жиделевым и др. «Производственное обучение в средней школе по машиностроительным специальностям», изд. АПН РСФСР, 1962 г. Отличие состоит в том, что типовые требования к оценке несколько расширены и систематизированы в ином плане. В частности, показатели нормы оценок приводятся по перечню профессиональных навыков, а не по периодам обучения.

Оценка выставляется согласно требованиям учебных программ и типовым нормам по четырем показателям, (трудовые навыки, технические навыки, организационные умения и навыки, умение применять общеобразовательные знания на практике). Средней оценки между этими показателями, не допускается. Выставленная инструктором оценка аргументируется и сообщается ученику в присутствии группы. Инструктор т. Борзунин В. А., выставляя оценку, помогает учащемуся осознать каждое новое достижение, пережить чувство радости и удовлетворения от труда и полученных результатов. В этих целях он стремится придать общественное значение оценке, полученной учеником за изготовление изделия. Лучшая промышленная продукция, изготовленная школьниками, демонстрируется на организуемых ими выставках работ.

Важное значение имеет система оплаты труда учащимся.

Как показывает опыт, необходимо быть очень внимательным и подходить творчески при введении различных систем оплаты труда.

На практике мы встречаемся с фактами, когда форма оплаты за выполненную работу не учитывает особенностей производства и различие в самой организации производства и труда учащихся. В результате нарушается правильная зависимость размера оплаты от количества и качества затраченного труда. При оплате не учитыва-

ются воспитательные цели, квалификация, практические навыки.

Интересная система оплаты труда школьников введена завучем производственного обучения средней школы № 1 им. В. И. Ленина на заводе «Контактор». Учащимся, не проявляющим достаточной самостоятельности, прилежности к труду, нарушающим дисциплину, снижается оценка. В соответствии с этим уменьшается и оплата за труд. В этих целях в школе установлена сетка оплачиваемых часов, которая помогает распределить заработанную бригадой сумму в зависимости от получаемой оценки за труд.

Так, например, при оценке за труд 1, ученик не включается в табель для оплаты, при оценке 2 — получает 25%, при оценке 3—50% и при оценках 4 и 5 получает все 100% ученического заработка. Учащиеся, которые не получают никакой оценки, включаются в табель и получают также все 100%. Ученики делят всю заработанную сумму и учет ведут по количеству отработанных ими часов.

Опыт работы школы и завода в течение двух лет показал, что такая система оплаты оправдывает себя. Она подтягивает отстающих. Количество учащихся, получающих пониженную оценку, как правило, снижается и не превышает 4—5 человек в группе.

В той же школе, отдельные, наиболее опытные ученики, направляются на участки для работы вместе с рабочими с повременной оплатой их туда. Школа и завод в этом случае также оплачивают труд учащихся в зависимости от получаемой ими оценки за труд. Но размер оплаты при сниженной оценке меньше, чем при бригадной работе.

Ученику, направленному на работу вместе со взрослыми рабочими, оказано больше доверия. Вместе с этим, к нему предъявляются и более жесткие требования.

Дифференцированная оплата заставляет учащихся быть подтянутыми, внимательно прислушиваться к требованиям инструктора, стремиться проявлять инициативу, самостоятельность, быть «заметными» в группе.

При организации труда, в целях воспитания творческой турдовой активности, предполагает научно обоснованное решение не только указанных нами вопросов производственного обучения, но и организацию тру-

да на рабочем месте, нормирование и внедрение рациональных методов и приемов работы.

Организация труда рабочих на социалистическом предприятии подчинена главной задаче — неуклонному росту производительности труда, а организация труда школьников должна прежде всего активизировать разностороннюю их деятельность, способствовать гармоническому развитию, вырабатывать привычку трудиться на благо общества, выполнять требования морального кодекса строителя коммунизма.

---

* См. книгу Е. С. Ерофеев «Воспитание школьников в процессе производственного обучения». Изд. 1963 г., г. Ульяновск.

ОГЛАВЛЕНИЕ:

Ученые записки
Том XVIII выпуск I
Технический редактор Л. П. ГЕРАСИМОВА

3М00730   1963 г.   Закз. 1356   Тираж 500 экз.
Формат 60x92$^{1}/_{16}$ Об'ем 7 печ. листов.   Цена 25 коп.
Тип изд-ва «Ульяновская правда» г. Ульяновск, ул. Гончарова, 10.

Цена 25 коп.